



Tuula Myllymäki

## **Tiehankkeen geotekninen massatalouden hallinta**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 10.11.2014

Valvoja: Professori Leena Korkiala-Tanttu

Ohjaaja: DI Pekka Ruuti

---

**Tekijä** Tuula Myllymäki

---

**Työn nimi** Tiehankkeen geotekninen massatalouden hallinta

---

**Laitos** Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka

---

**Professori** Pohjarakennus ja maamekaniikka

---

**Professuurikoodi** Rak-50

---

**Työn valvoja** Professori Leena Korkiala-Tanttu

---

**Työn ohjaaja(t)/Työntarkastaja(t)** DI Pekka Ruuti

---

**Päivämäärä** 10.11.2014

---

**Sivumäärä** 81+12

---

**Kieli** Suomi

---

## Tiivistelmä

Infrahankkeessa leikattavien ja siirrettävien massojen käsittely aiheuttaa merkittävän osan hankkeen kustannuksista. Koska hankkeen massojen hallinnalla on suuri vaikutus kustannuksiin, on hankkeen massatalouden hallinta oleellinen osa hankkeen suunnittelu-, tarjouslaskenta- ja toteutusvaiheita. Massatalouden hallinnassa on oleellista pyrkiä käyttämään mahdollisimman suuri osa massoista työmaan sisällä ja minimoimaan ulosajettavien massojen määriä ja kuljetusetaisyyksiä. Siihen, kuinka hyvin massat voidaan hyödyntää työmaan sisällä, vaikuttavat merkittävästi maamassojen maalajit ja niiden kelpoisuudet eri rakenteissa.

Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka hyvin maalajit pystytään arvioimaan pohjatutkimusten perusteella sekä selvittää pohjatutkimusten määrällistä ja laadullista riittävyyttä urakoitsijan näkökulmasta Kehä III Lahdenväylä–Porvoonväylä -hankkeessa. Lisäksi työn tavoitteena oli kehittää urakoitsijalle maaperätiedon seurantaan perustuva massatalouden hallinnan prosessi. Tutkimuksessa kerättiin tietoa Kehä III -hankkeessa työmaalla todetuista maalajeista ja niiden määristä, ja verrattiin niitä suunnitelma-aineiston mukaiseen tietoon. Lisäksi seurattiin laskennassa arvioitujen ja toteutuneiden maalajimäärien erojen aiheuttamia muutoksia massansiirtosuunnitelmaan. Maalajeista kerättiin tietoa mittamiehien ja kaivinkoneenkuljettajien koneohjausjärjestelmällä kartoittamien tarkepisteiden avulla. Kerätyistä tarkepisteistä luodun mallin perusteella laskettiin maalajien määrät.

Tutkimuksessa havaittiin selkeitä eroja laskennassa arvioitujen, pohjatutkimuksista tehdyn mallin perusteella laskettujen ja työmaalla todettujen maalajimäärien välillä. Urakan kairausten määrän todettiin olevan urakoitsijan näkökannalta sopiva, mutta häiriintyneitä näytepisteitä olisi pitänyt olla enemmän. Lisäksi suunnittelijan tulkinta pohjatutkimuksista olisi pitänyt siirtää urakoitsijalle paremmin esimerkiksi maaperämallin, tarkempien maaperäkuvausten tai maalajimäärätiedon avulla. Tutkimuskohteena olevasta urakasta tunnistettiin tyypillisiä kohteita, joissa on riski sille, että todettu maalaji eroaa laskennassa arvioidusta.

---

**Avainsanat** massatalous, maalajit, maaperä, pohjatutkimukset, maalajien kelpoisuus

---

<b>Author</b> Tuula Myllymäki		
<b>Title of thesis</b> Geotechnical mass haul control		
<b>Department</b> Civil engineering		
<b>Professorship</b> Soil Mechanics and Foundation Engineering		<b>Code of professorship</b> Rak-50
<b>Thesis supervisor</b> Professor Leena Korkiala-Tanttu		
<b>Thesis advisor(s) / Thesis examiner(s)</b> M. Sc. Pekka Ruuti		
<b>Date</b> 10.11.2014	<b>Number of pages</b> 81+12	<b>Language</b> Finnish

### **Abstract**

Mass haul related costs make up a considerable part of total costs in an infrastructure construction project. Consequently mass economy is essential in managing planning, tender calculation and constructing phases of a project. In managing mass economy it is important to maximize the volume of masses that can be utilized in the project and to minimize the volume of masses to be transferred to landfill areas outside of the project site. It is as well important to minimize transportation distances of the masses. Soil type has a significant effect on potential structures where the masses can be used.

The objective of the study was to find out how well actual soil types at the construction project site can be estimated based on the soil investigations and whether or not the soil investigations of the Kehä III project were adequate. In addition one objective of the study was to develop a process for managing mass economy based on soil data. In the study data of actual soil types at the construction project site was collected and compared to the data received from the client including soil description and soil investigations data. Additionally mass haul plan changes caused by differences between estimated and actual volumes of soil types, were examined.

In the study notable differences between estimated and actual soil type volumes were observed. The number of soil soundings was discovered to be adequate for the contractor. However, the number of soil samples should be increased. Additionally analysis of the soil investigation should be transferred more effectively from designer to contractor for example with 3D-model, more accurate soil description or estimated soil type volumes. In the study typical risk areas were identified where actual soil type was found out to be different compared to soil type estimated in the offer calculation phase.

---

**Keywords** mass economy, soil type, soil investigations

---

## Alkusanat

*Tämä diplomityö on tehty YIT Rakennus Oy:lle, joka toimi myös työn rahoittajana.*

*Erityisesti haluan kiittää työn valvojana toiminutta professori Leena Korkiala-Tanttua sekä työn ohjaajana toiminutta diplomi-insinööri Pekka Ruutia työn tarkastamisesta ja kaikista saamistani kommentteista sekä neuvoista.*

*Lisäksi haluan kiittää Veli-Pekka Vanhasta työn mahdollistamisesta sekä koko Kehä III La-Po projektihenkilökuntaa hyvästä työilmapiiristä. Matti Lojanderia haluan kiittää avusta maalajien tunnistamisessa. Edellä mainittujen lisäksi haluan kiittää kaikkia, jotka ovat auttaneet työn valmistumisessa vastaamalla haastattelukysymyksiin tai muuten avustaneet työn edetessä.*

*Lopuksi haluan kiittää ystäviäni, perhettäni sekä erityisesti Joonaa työn aikana saamastani korvaamattomasta avusta, tuesta ja kannustuksesta.*

Espoo 10.11.2014

Tuula Myllymäki

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Sisällysluettelo .....	1
1 Johdanto .....	3
2 Maaperä ja pohjatutkimukset .....	4
2.1 Suomen maaperä .....	4
2.1.1 Hienorakeiset maalajit.....	4
2.1.2 Karkearakeiset maalajit.....	5
2.1.3 Moreenimaalajit .....	6
2.2 Maalajiluokitukset .....	8
2.2.1 Käytössä olevat luokitukset.....	8
2.2.2 Geotekninen maalajiluokitus.....	8
2.2.3 Iso-maaluokitus .....	11
2.2.4 Kaivuluokitus .....	13
2.3 Maalajien tunnistaminen .....	14
2.3.1 Tunnistamismenetelmät .....	14
2.3.2 Hienorakeisten maalajien tunnistaminen .....	14
2.3.3 Karkearakeisten maalajien ja moreenin tunnistaminen.....	15
2.4 Pohjatutkimusten ohjelmointi.....	16
2.5 Pohjatutkimusmenetelmät .....	20
2.5.1 Koekuoppa .....	20
2.5.2 Painokairaus .....	20
2.5.3 Heijarikairaus .....	22
2.5.4 Porakonekairaus .....	23
2.5.5 CPT- ja CPTU-kairaus (puristinkairaus).....	24
2.5.6 Puristin-heijarikairaus .....	26
2.6 Maaperämalli .....	28
2.7 Maaperään ja pohjatutkimusten tulkintaan liittyvät epävarmuudet.....	28
2.7.1 Pohjatutkimusmenetelmien ja tulkinnan epävarmuudet .....	28
2.7.2 Maaperän epähomogeenisuus .....	29
2.7.3 Pohjatutkimusten urakoitsijalle aiheuttamat epävarmuudet.....	31
3 Maarakentaminen ja massatalous.....	32
3.1 Maiden käyttökohteet ohjeiden ja vaatimusten mukaisesti .....	32
3.1.1 Tiepenkereet.....	32
3.1.2 Luiskat, vastapenkereet, meluvallit ja maaston muotoilut .....	33
3.1.3 Esikuormitus ja massanvaihdon täyttö.....	33
3.1.4 Siltojen täytöt .....	34
3.1.5 Asennusalustat, alkutäytöt, lopputäytöt .....	34
3.2 Massatalouden hallinta .....	35
3.2.1 Suunnitteluvaiheen massatalouden hallinta .....	35
3.2.2 Massakertoimet .....	36
3.2.3 Laskentavaiheen massatalouden hallinta .....	37
3.2.4 Toteutusvaiheen massatalouden hallinta.....	39
4 Koerakennuskohde .....	42
4.1 Koerakennuskohteen kuvaus .....	42
4.1.1 Kehä III VT4-VT7 .....	42
4.1.2 Kohteen maaperä yleispiirteisesti .....	43

4.1.3	Länsimäentien jatke Y1.....	43
4.1.4	Länsimäen eritasoliittymän ramppi E1R1.....	46
4.1.5	Länsimäen eritasoliittymän ramppi E1R2.....	46
4.1.6	Länsimäentien eritasoliittymän ramppi E52R1.....	46
4.2	Tutkimusaineiston kerääminen ja käsittely .....	47
4.2.1	Silmämääräiset havainnot ja käsin tehtävät tunnistuskokeet .....	47
4.2.2	Rakeisuuskäyrät .....	48
4.2.3	Koekuopat .....	48
4.2.4	Maalajirajojen kartoitus kaivinkoneella ja mittalaitteilla.....	49
4.2.5	Maalajirajojen mallintaminen ja massamäärien ja laatujen vertailu .....	49
4.2.6	Näytetietojen vertaaminen lähimpään kairauspisteeseen.....	50
4.2.7	Massatalouden hallinta.....	51
5	Tulosten arviointi ja pohdinta .....	52
5.1	Havaintoja maalajien toteumatiedon keräämisestä .....	52
5.1.1	Havainnot maalajien kartoittamisesta .....	52
5.1.2	Havainnot maalajien tunnistamisesta ja luokittelusta .....	54
5.2	Tutkimuskohteiden massamäärien vertailu .....	54
5.2.1	Länsimäentie Y1 .....	54
5.2.2	Ramppi E1R1 .....	57
5.2.3	Ramppi E1R2.....	58
5.2.4	Ramppi E52R1 .....	59
5.2.5	Yleistä massamäärien vertailusta .....	59
5.3	Näytepisteiden vertailu.....	61
5.4	Geologinen analyysi .....	64
5.5	Pohjatutkimusten riittävyys, maalajien luokittelu .....	65
5.5.1	Pohjatutkimusten määrä.....	65
5.5.2	Maalajien luokittelu .....	65
5.5.3	Maaperämallin hyödyntäminen.....	66
5.6	Massatalouden hallinta geotekniseltä kannalta .....	68
5.6.1	Yleistä massatalouden hallinnasta.....	68
5.6.2	Laskentavaiheen massojen hallinta.....	68
5.6.3	Massatasapainon seuraaminen .....	69
5.6.4	HAULR-ohjelman käyttäminen .....	70
5.6.5	Riskikohteiden huomioiminen .....	70
5.6.6	Maalajimäärien erojen kustannukset.....	71
5.6.7	Kehitysideoita massatalouden hallintaan .....	72
6	Johtopäätökset ja yhteenveto.....	73
	Lähdeluettelo.....	77
	Liiteluettelo .....	81
	Liitteet	

# 1 Johdanto

Massatalouden hallinnalla tarkoitetaan hankkeen massojenkäsittelyyn liittyvien kustannusten minimointia suunnitteluratkaisujen ja työn suunnittelun avulla niin, että vaadittu laatutaso säilytetään. Infrahankkeessa leikattavien ja siirrettävien massojen käsittely aiheuttaa merkittävän osan hankkeen kustannuksista. Koska hankkeen massojen hallinnalla on suuri vaikutus kustannuksiin, on hankkeen massatalous oleellinen osa hankkeen suunnittelu-, laskenta- ja toteutusvaiheita. (Manninen 2009, s.66.) Massatalouden hallinnassa on oleellista pyrkiä käyttämään mahdollisimman suuri osa massoista työmaan sisällä ja minimoimaan ulosajettavien massojen määriä ja kuljetusetäisyyksiä. Siihen, kuinka hyvin massat voidaan käyttää työmaan sisällä, vaikuttavat merkittävästi maamassojen maalajit ja niiden kelpoisuudet eri rakenteissa.

Työn tavoitteena on selvittää, kuinka hyvin maalajit pystytään arvioimaan pohjatutkimusten perusteella. Tavoitteena on lisäksi selvittää pohjatutkimusten määrällistä ja laadullista riittävyyttä urakoitsijan näkökulmasta Kehä III Lahdenväylä–Porvoonväylä -hankkeessa. Lisäksi työn tavoitteena on kehittää urakoitsijalle maaperätiedon seurantaan perustuva massatalouden hallinnan prosessi. Työn tavoitteista johdetut tutkimuskysymykset ovat:

- Miten työmaalla havaitut maalajit eroavat pohjatutkimusten mukaan tulkituista?
- Ovatko hankkeen pohjatutkimukset urakoitsijan näkökulmasta riittävät?
- Minkälaisia epävarmuuksia sisältyy pohjatutkimuksiin ja maalajien luokitteluun?
- Miten pohjatutkimustietoa voidaan hyödyntää massatalouden hallinnassa?

Työ on jaettu kirjallisuusosuuteen ja tutkimusosuuteen. Kirjallisuusosuudessa käsitellään pohjatutkimusten ohjelmointia suunnitteluvaiheessa, sekä pohjatutkimusmenetelmiä ja niiden tulkintaa. Lisäksi kuvataan Suomen maaperän yleispiirteet, Suomessa käytössä olevat maalajiluokitukset, ja maalajien silmämääräinen tunnistaminen. Maalajien käyttökelpoisuutta eri rakenteissa selvitetään InfraRYL 2010 laatuvaatimuksien ja Liikenneviraston ohjeiden perusteella. Osuudessa käsitellään myös massatalouden hallintaa tuotannon ohjauksen näkökulmasta. Kirjallisuusosuudessa on käytetty lähteinä sekä suomalaisia että ulkomaisia aiempia tutkimuksia, artikkeleita, alan kirjoja, standardeja ja ohjeita sekä henkilöhaastatteluja.

Tutkimusosuudessa tarkasteltiin Kehä III Lahdenväylä–Porvoonväylä parantamishanketta tuotantovaiheessa urakoitsijan näkökulmasta. Tutkimusosuuden lähtötietona olivat hankkeen tilaajalta saadut pohjatutkimus- ja maaperätiedot, sekä suunnitelmat ja massaluettelot. Tutkimuksessa kerättiin tietoa Kehä III hankkeessa työmaalla todetuista maalajeista ja niiden määristä, ja verrattiin niitä suunnitelmien mukaiseen tietoon. Lisäksi seurattiin laskennassa arvioitujen ja toteutuneiden maalajimäärien erojen aiheuttamia muutoksia massansiirtosuunnitelmaan.

Työn tutkimusosuus rajattiin koskemaan massatalouden hallintaa pohjatutkimusten ja maalajien kelpoisuuden näkökulmasta. Infrahankkeen massatalouden hallintaa tuotannon hallinnan näkökulmasta käsitellään työssä yleisemmällä tasolla. Työ on rajattu koskemaan pääasiassa maalajien hyödyntämistä ja tarkempi kuvaus kalliomateriaalin ja murskeiden käytöstä rajattiin työn ulkopuolelle. Työn näkökulma on rajattu käsittelemään ainoastaan tiehankkeita.

## 2 Maaperä ja pohjatutkimukset

### 2.1 Suomen maaperä

Ennen varsinaisia pohjatutkimuksia maaperästä voidaan saada tietoa maaperän geologisten muodostumien perusteella. Geologisilla muodostumilla on itselleen tyypillinen rakenne ja maalajit. Maaperän geologiaan kiinnitetään erityisesti huomiota pohjatutkimusten ohjelmoinnin esiselvitysvaiheessa, jolloin ei ole vielä käytettävissä ohjelmoiduista pohjatutkimuksista saatua tietoa. Tässä luvussa on esitelty Suomen maaperälle tyypillisiä geologisia rakenteita.

Suomen maaperän muodostumisen kannalta merkittävä tekijä on viimeisin jääkausi. Jääkauden aikana maata peittänyt paksu jäätikkö painoi maa- ja kallioperää alaspäin ja siirsi liikkeessaan maa-ainesta. Jäätikön sulaminen aiheutti karkearakeisten maalajien lajittumisen huuhtomalla moreeneista. Jääkauden loputtua alkoi hidas ja edelleen jatkuva maan kohoaminen. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s. 24–25.)

#### 2.1.1 Hienorakeiset maalajit

Hienorakeisten maalajien synnyssä merkittävä tekijä on Itämeren eri järvi- ja merivaiheet (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.27). Hienorakeisia maalajeja esiintyy alueilla, joille Itämeren pinta on eri kehitysvaiheissaan ylimmillään ulottunut. (Korhonen ym. 1971 s.25). Hienorakeisia maalajeja esiintyy lähinnä rannikkoalueilla, sillä sisämaan alueet ovat olleet vain lyhyen ajan matalan veden peittäminä.

Hienorakeiset maalajit esiintyvät usein maaston alavimmissa kohdissa tasanteina tasoit- taen kallioperän painanteita. Hienorakeiset maalajit ovat muodostuneet paikallaan ole- vaan veteen merien ja järvien pohjalle laskeutuneesta hienojakoisesta lietteestä. Kun kal- lioperä, ja maaperä sen mukana, on kohonnut jääkauden jälkeen, ovat nämä kerrostumat nousseet maanpinnalle. Maankohoamisen seurauksena saven pintaan on muodostunut kova kuivakuorikerros huokosveden haihtumisen myötä. Tyypillisesti pohjaveden pinta on heti kuivakuoren alapuolella olevassa heikoimmassa savikerroksessa. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.30–32.)

Savet voidaan jakaa geologisen rakenteensa perusteella kerrallisiin ja homogeenisiin sa- viin. Kerralliset savet ja siltit ovat syntyneet jäätikön sulamisvaiheessa. Hienoaaines on kulkeutunut virtaavan veden mukaan jäätikön reunan ulkopuolelle ja laskeutunut vesistön pohjalle muodostaen kesällä karkeampia silttikerroksia ja talvella hienorakeisempia savi- kerroksia. Talvella on sedimentoitunut vain hieno veteen liettynyt aines, sillä talvella jää- tikön sulaminen on pysähtynyt ja sedimentoituvaa ainesta on ollut vähemmän liikkeellä kuin kesällä. Kuvassa 1 on esimerkki kerrallisesta lustosavesta. (Korhonen ja Gardemeis- ter 1971, s.30–32.)

Homogeeniset savet ja siltit ovat syntyneet jäätikön sulamisvaiheen jälkeen. Näihin saviin sedimenttiaines ei ole tullut suoraan kaukana olevalta jäätiköltä vaan osittain aallokon ja osittain virtaavan veden mukana. Nämä savet ovat huomattavalta osalta koostuneet aiem- min kerrostuneesta savesta, joka on paljastunut maanpintaan ja huuhtoutunut virtaavan veden mukana. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.30–32.)





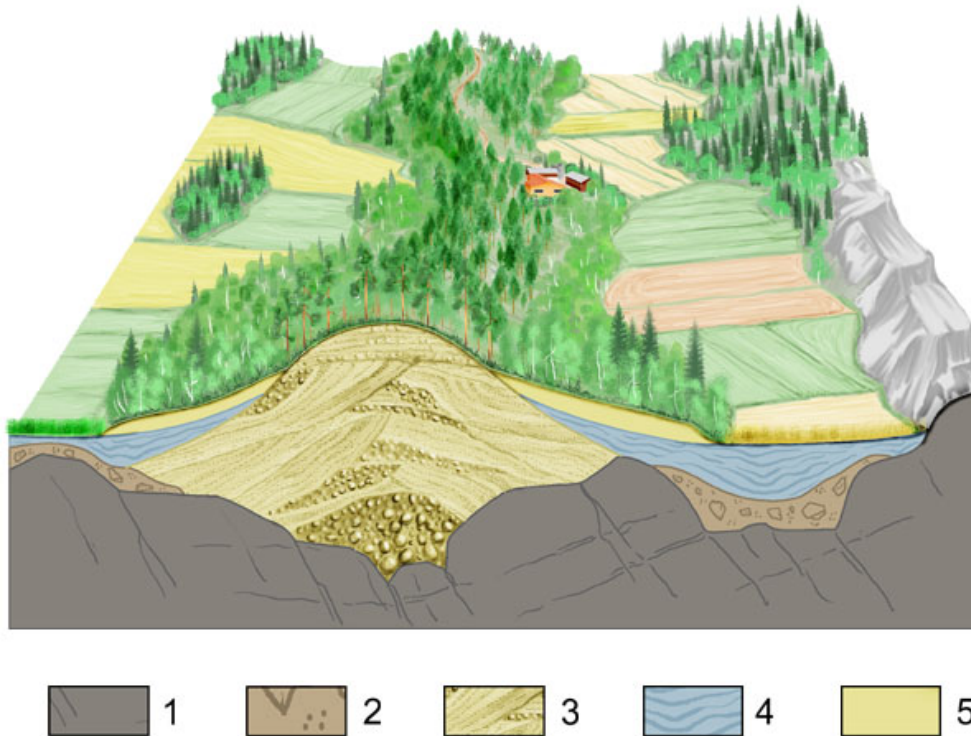
Kuva 1. Kerrallinen lustosavi (Geologia.fi 2014)

### 2.1.2 Karkearakeiset maalajit

Karkearakeisia maalajeja hiekkaa ja soraa esiintyy pääsääntöisesti koko maassa. Karkeita maalajeja esiintyy useissa erilaisissa muodostumissa, jotka ovat syntyneet moreenista veden virtauksen ja aallokon aiheuttaman peseytymisen, kulumisen ja kerrostumisen johdosta. Maalajien raekoot vaihtelevat usein muodostuman sisällä eri hiekka- ja sorakeroksina, mikä johtuu kerrostumisen aikana tapahtuneista veden virtauksen muutoksista. Vaihtelevat kerrokset saattavat aiheuttaa epätoivottuja yllätyksiä esimerkiksi soran muuttuessa hiekaksi maanotto paikalla. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.34–36.)

Suuri osa karkearakeisista maalajeista esiintyy jäätikköjokimuodostumissa, joita ovat harjut ja deltat. Harjut ovat muodostuneet jäässä olleisiin tunneleihin ja railoihin sekä jokien suosiin jäätikön perääntyessä. Kuvassa 2 on esitetty harjun poikkileikkaus. Harjuissa on normaalisti karkea kivistä ja sorasta muodostunut ydin. Hiekan osuus kasvaa reunoille siirryttäessä. Deltat ovat muodostuneet jäätikön sulamisvesien tuomasta lajittuneesta aineksesta jäätikköjoen suulle jäätikön reunan ollessa pysähtyneenä seisovassa vedessä. Deltat ovat yleensä tasaisia hiekka ja sora-alueita, joilla kasvaa mäntymetsää. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.34–38.)

Rantakerrostumiksi sanotaan muodostumia, jotka ovat syntyneet aikanaan vallinneen rantaviivan kohdalle aallokon huuhtoessa moreenimaita ja jäätikköjokien muodostumia. Tyypillisiä rantakerrostumia ovat laakeat hiekka- ja sora-alueet eli, kankaat. Rantakerrostumille ominaista on niiden kerrostuminen savien ja silttien päälle savikkoalueilla. Tällainen erityisesti Etelä-Suomelle tyypillinen kerrosjärjestys näkyy kuvassa 2. Muita hiekkamuodostumia ovat tuulen kasaamat dyynit mm. Kalajoella ja Yyterissä. Lisäksi sisämaassa on muinaisille rannoille syntyneitä kuolleita dyynejä, joissa hiekan kulkeutuminen on pysähtynyt kasvillisuuden vuoksi. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.39–40.)



**Kuva 2 Harjun poikkileikkaus. 1) kallio, 2) pohjamoreeni, 3) Harjuaines (sora ja hiekka), 4) Savi ja siltti, 5) Rantakerrostuma (hiekk) (Geologia.fi 2014)**

### 2.1.3 Moreenimaalajit

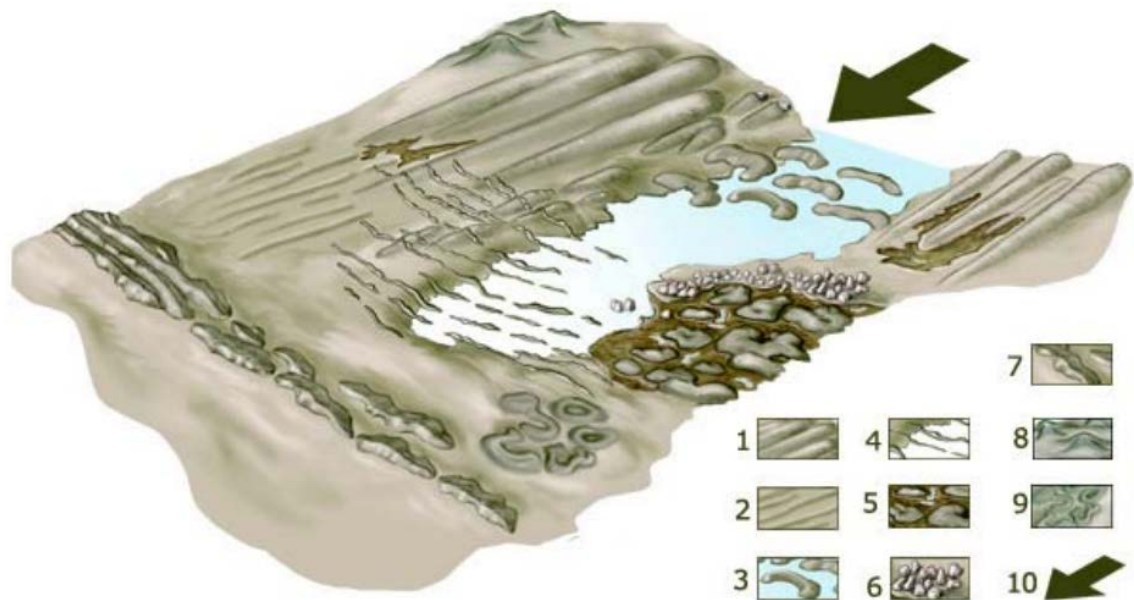
Moreenimaalajit ovat syntyneet jäätikön liikkeessaan heikkousvyöhykkeistä irrottaman ja murskaaman aineksen sekoittuessa jääkautta edeltäneisiin maa-aineksiin. Moreenin raekoko vaihtelee savesta suuriin lohkareisiin. Moreenit ovat usein kerrostuneet kallion pinnalle ja peittävät kallioperää melko yhtenäisesti koko Suomen alueella. Alavilla alueille, varsinkin rannikoilla, moreenin päällä on usein hienorakeisia ja eloperäisiä maakerroksia. Moreenit ovat Suomessa tyypillisesti kivisiä ja lohkareisia, minkä vuoksi moreenialueella maan pinnassa on usein kiviä ja lohkareita. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s. 40.) Moreeni on suomen yleisin maalaji ja se peittää n. 48 % Suomen maa-pinta-alasta (TIEL 1995, s.10).

Moreenin syntytytavan mukaan voidaan erottaa jäätikön pohjalla kulkeutunut ja murskautunut pohjamoreeni ja jäätikön sisäosissa kulkeutunut ja sieltä pohjamoreenin pinnalle sulamisvaiheessa kasautunut pintamoreeni. Pohjamoreeni on tiivistä, sillä se on ollut jäätikön kuormituksen alla. Pohjamoreeni on usein myös hienoainespitoista silttistä hiekkamoreenia. (TIEL 1995, s.10.) Pintamoreeni on usein löyhempää, hiekkaisempaa ja kiviempää kuin pohjamoreeni, sillä jäätikön sulamisvaiheessa sen kasautuessa on tapahtunut huuhtoutumista (Korhonen ja Gardemeister 1971, s. 43).

Kuvassa 3 on esitetty moreenimuodostumia, joista osaa käsitellään seuraavaksi. Reunamoreenit ovat jäätikön reunan eteen jään liikkumissuuntaan nähden poikittain kasautuneita moreenimuodostumia. Reunamoreenit esiintyvät usein ryhminä, jolloin pienehköllä alueella voi olla kymmeniä moreenivalleja. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s. 43.) Yksittäisiä suurempia reunamoreeneita esiintyy suurien reunamuodostumien, kuten Salpausselkien yhteydessä. Kumpumoreenit ovat vaihtelevan muotoisia, kumpareita ja selänteitä,

jotka ovat syntyneet jäätikön sulamisvaiheessa jään reunan pysähtyttyä. Kumpu- ja selännemuodot johtuvat jäätikön epätasaisesta sulamisesta ja sulamisvesien virtauksesta. Kumpumoreenimuodostumat esiintyvät usein laajoina kenttinä. (TIEL 1995, s.12.) Kumpumoreenien moreeniaines on usein löyhempää kuin pohjamoreeni ja se sisältää enemmän kiviä ja lohkareita (Korhonen ja Gardemeister 1971, s. 43).

Drumliinit ovat jään etenemissuunnan mukaisia moreeniselänteitä. Ne ovat syntyneet jäätikön aktiivisen etenemisen aikana tai jäätikön vetäytymisvaiheessa. Drumliinit esiintyvät usein laajoina kenttinä, jotka koostuvat samansuuntaisista selänteistä. Yksittäin esiintyvät drumliinit ovat harvinaisempia ja sisältävät usein kalliosydämen. (TIEL 1995, s.11.) Drumliinien pituus vaihtelee, mutta usein ne ovat muutamia satoja metrejä pitkiä (Korhonen ja Gardemeister 1971, s. 45). Drumliinit koostuvat yleensä tiiviistä hiekkamoreenista ja tai silttisestä hiekkamoreenista. (TIEL 1995, s.11.)



**Kuva 3. Erityyppisiä moreenimuodostumia. 1=drumliini, 2=vakoumia, 3=Rogenmoreeneja, 4=De-Geer-moreeneja, 5=kumpumoreeneja, 6=lohkareikkoja, 7=reunamoreeneja, 8=Veikimoreeneja, 9=pulumoreeneja, 10=jäätikön liikesuunta (Haavisto-Hyvärinen ja Kutvonen 2007, s.23)**



## 2.2 Maalajiluokitukset

### 2.2.1 Käytössä olevat luokitukset

Tässä luvussa käsitellään geoteknistä maalajiluokitusta, ISO-maaluokitusta ja esitellään kaivuluokitus. Tällä hetkellä Suomessa yleisimmin käytössä oleva maaluokitus on Suomessa 1970-luvulla kehitetty geotekninen maaluokitus. Geoteknisen luokituksen kanssa samaan aikaan on kehitetty kaivuluokitus, joka ei ole juurikaan käytössä. Ennen geoteknistä luokitusta käytössä ollut rakennusgeologinen maaluokitus näkyy vielä esimerkiksi vanhoissa suunnitelma-asiakirjoissa ja pohjatutkimuksissa. Eurooppalaiseen standardiin perustuva ISO-maaluokitus ei ole ainakaan toistaiseksi Suomessa yleisessä käytössä. (Liikennevirasto 2012, s.20).

### 2.2.2 Geotekninen maalajiluokitus

Geotekninen maaluokitus on edelleen yleisin Suomessa käytetty maalajiluokitus. Geoteknisessä maalajiluokituksessa maalajit on jaettu geologisen syntytyyppien, humuspitoisuuden ja lajitepitoisuuden perusteella maalajiryhmiin. Maalajiryhmiä ovat eloperäiset maalajit, hienorakeiset maalajit, karkearakeiset maalajit ja moreenimaalajit. (Korhonen ym. 1974, s.9.)

Geoteknisessä maalajiluokituksessa kivennäismaalajien päälaajitteita ovat savi, siltti, hiekka, sora, kivet ja lohkareet. Kivennäismaalajien humuspitoisuus on alle 20 paino- % kivennäisaineksen painosta laskettuna. Taulukossa 1 on esitetty kivennäismaalajien lajitteiden nimet ja raekoot. Hienoainekseksi kutsutaan savi- ja silttilajitteita eli lajitteita, joiden raekoko on alle 0,06 mm. Taulukossa olevia alalajitteiden nimiä ei yleensä käytetä maalajien niminä. (Korhonen ym. 1974, s.9.)

**Taulukko 1 Geotekninen maalajiluokitus. Kivennäismaalajien lajitteet. (Korhonen ym. 1974, s.10)**

Päälaajite	Lyhennys	Alalajite	Rakeiden läpimitta, mm
Savi	Sa		≤0,002
Siltti	Si		>0,002–0,06
		Hienosiltti	>0,002–0,006
		Keskisiltti	>0,006–0,02
		Karkeasiltti	>0,02–0,06
Hiekka	Hk		>0,06–2,0
		Hienohiekka	>0,06–0,2
		Keskihiiekka	>0,2–0,6
		Karkeahiekka	>0,6–2,0
Sora	Sr		>2,0–60,0
		Hienosora	>2,0–6,0
		Keskisora	>6,0–20,0
		Karkeasora	>20,0–60,0
Kivet	Ki		>60–600
		Pienet kivet	>60–200
		Suuret kivet	>200–600
Lohkareet	Lo		>600

Maalajit nimetään niiden lajitepitoisuuden ja humuspitoisuuden perusteella. Maalajit nimetään sen aineksen perusteella, joka läpäisee 60 mm seulan, joten kivien ja lohkareiden

määrä ei vaikuta maalajin nimeen. Kivisyys ja lohkaraisuus on kuitenkin kerrottava erikseen maaperää tai maalajia kuvattaessa. Taulukossa 2 on esitetty geoteknisen maalajiluokituksen maalajit. Geoteknisessä maalajiluokituksessa kivennäismaalajit nimetään savea lukuun ottamatta läpäisyprosenttia 50 vastaavan raekoon perusteella. Tällöin maalaji nimetään sen pääajittteen mukaan, jonka raekokojakauman sisällä läpäisyprosenttia 50 vastaava raekoko sijaitsee. Menetelmää kutsutaan  $d_{50}$ -menetelmäksi. Savet nimetään savilajittteen painoprosentti osuuden mukaan. Jos savilajitetta on yli 30 painoprosenttia, kutsutaan maalajia saveksi. (Korhonen ym. 1974, s.10.)

Moreenit ovat lajittumattomia maalajeja ja ne sisältävät useita eri lajitteita usein siltistä soraan asti. Lisäksi moreenit sisältävät usein kiviä ja lohkareita. Moreenit jaetaan siltti-, hiekka- ja soramoreeneihin  $d_{50}$ -menetelmällä. Maalaji nimetään rakeisuuskäyrän perusteella moreeniksi, jos se sisältää yhtä aikaa enemmän kuin viisi prosenttia sekä hienoainesta että soraa. (Korhonen ym. 1974, s.11.)

Turve ja lieju ovat eloperäisiä maalajeja. Turve on muodostunut kasvien osista, jotka ovat osittain tai lähes kokonaan maatuneita. Lieju on kivennäisaineksena kasvi ja eläinjätteidien muodostama maalaji. Liejussa on yli 20 % humusta, mutta sen pääaineksena on kuitenkin kivennäisaines. (Korhonen ym. 1974, s.11 ja Liite 1/5.)

**Taulukko 2 Geotekninen maalajiluokitus. Maalajit. (Korhonen ym. 1974, s.11)**

Maalajiryhmä	Maalaji	Lyhennys	Lajitepitoisuus, paino-%			Raekoko $d_{50}$ , mm
			Savi	Hienoaines	Sora	
Eloperäiset maalajit	Turve	Tv				
	Lieju	Lj				
Hienorakeiset Maalajit	Savi	Sa	$\geq 30$			
	Siltti	Si	$< 30$	$\geq 50$	$< 5$	$\leq 0,06$
Karkearakeiset Maalajit	Hiekka	Hk		$< 50$	$\leq 50$	$> 0,06 - 2,0$
	Sora	Sr		$< 5$	$> 50$	$> 2,0 - 60,0$
Moreenimaalajit	Silttimoreeni	SiMr		$\geq 50$	$\geq 5$	$\leq 0,06$
	Hiekkamoreeni	HkMr		5–50	5 - 50	$> 0,06 - 2,0$
	Soramoreeni	SrMr		$\geq 5$	$> 50$	$> 2,0$

Maalajin pääajittteiden lisäksi maalajeja kuvataan humus-, savi-, siltti-, hiekka- ja sorapitoisuuden perusteella. Näiden pitoisuuksien perusteella maalajille voidaan antaa lisänimi. Lisäksi maalajeja voidaan kuvata raekokosuhteen, rakeiden pyöristyneisyyden ja muodon, sekä plastisuuden perusteella. Nämä kuvaukset eivät kuitenkaan vaikuta maalajien nimeämiseen. (Korhonen ym. 1974, s.12–15.)

Taulukossa 3 on esitetty hienorakeisten maalajien saamat lisänimet humuspitoisuuden perusteella. (Korhonen ym. 1974, s.12 ja Liite 1/5.) Karkearakeisten maalajien ja moreenien sisältäessä humusta ilmoitetaan tämä sanalla humuksinen (hu). Maanpinnassa olevaa kasvukerrosta kutsutaan humusmaaksi (Hm). Muta (Mu) on lähinnä vesistöjen pohjalle veden mukana kulkeutunutta humusta, jota voi esiintyä vesijättömailla ja turpeen alla ohuina kerroksina. Maalajin savisuutta kuvataan taulukon 4 mukaisilla nimityksillä. (Korhonen ym. 1974, s.12.)

Siltti-, hiekka- ja soramaalajeja kuvataan lisänimillä silttinen, hiekkainen ja sorainen taulukon 5 mukaisesti lajitepitoisuuden ollessa 30–50 painoprosenttia. Moreenimaalajit saavat vastaavan lisänimen taulukon 6 mukaisesti lajitepitoisuuden ollessa yli 30 painoprosenttia. Jos maalaji näyttäisi lajitepitoisuuksien perusteella saavan kaksi lisänimeä, käytetään vain hienompirakeisen lajitteen mukaista nimeä. (Korhonen ym.1974, s.12–13.)

**Taulukko 3 Hienorakeisten maalajien kuvaus humuspitoisuuden perusteella. (Korhonen ym. 1974, s.12)**

Maalaji	Humuspitoisuus, paino- % kivennäisaineksesta	Nimitys	Lyhen- nys
savi, siltti	≤ 2	savi,siltti	Sa, Si
savi	> 2–6	liejuinen savi	ljSa
siltti	> 2–6	liejuinen siltti	ljSi
savi	> 6–20	savinen lieju	saLj
siltti	> 6–20	silttinen lieju	siLj
lieju	> 20	lieju	Lj

**Taulukko 4 Hienorakeisten maalajien kuvaus savipitoisuuden perusteella. (Korhonen ym. 1974, s.13)**

Savipitoisuus, %	Nimitys	Lyhennys
≤ 10	ei vaikuta nimitykseen	-
> 10–30	savinen siltti	saSi
> 30–50	laiha savi	laSa
> 50	lihava savi	liSa

**Taulukko 5 Siltti-, hiekka- ja soramaalajien kuvaus lajitepitoisuuden perusteella. (Korhonen ym. 1974, s.13)**

Nimitys	Lyhennys	Selitys
hiekkainen siltti	hkSi	siltin hiekkapitoisuus 30–50 %
silttinen hiekka	siHk	hiekan silttipitoisuus 30– < 50%
sorainen hiekka	srHk	hiekan sorapitoisuus 30 –50 %
hiekkainen sora	hkSr	soran hiekkapitoisuus 30– <50 %

**Taulukko 6 Moreenimaalajien kuvaus lajitepitoisuuden perusteella. (Korhonen ym. 1974, s.13)**

Nimitys	Lyhennys	Selitys
hiekkainen silttimoreeni	hkSiMr	silttimoreenin hiekkapitoisuus ≥ 30 %
silttinen hiekkamoreeni	siHkMr	hiekkamoreenin silttipitoisuus ≥ 30 %
sorainen hiekkamoreeni	srHkMr	hiekkamoreenin sorapitoisuus ≥ 30 %
hiekkainen soramoreeni	hkSrMr	soramoreenin hiekkapitoisuus ≥ 30 %

### 2.2.3 Iso-maaluokitus

ISO-maaluokitukseksi kutsutaan seuraaviin Eurooppalaisiin standardeihin perustuvaa maalajiluokitusta (Lojander 2013, s.2.):

- SFS-EN ISO 14688-1 Geotekninen tutkimus ja koestus. Maan tunnistaminen ja luokitus. Osa 1: Tunnistaminen ja kuvaus
- SFS-EN ISO 14688-2 Geotekninen tutkimus ja koestus. Maan tunnistaminen ja luokitus. Osa 2: Luokituksen perusteet

ISO- maaluokituksen ensimmäisessä osassa käsitellään maan tunnistamista ja rae- ja rakenneominaisuuksien määrittämistä silmämääräisesti ja manuaalisesti. Luokituksessa on kuvattu prosessi maan tunnistamiseksi. Prosessissa määritetään onko maa luonnollista vai rakennettua, onko maa-aines orgaanista ja tarkastellaan kivien ja lohkareiden osuutta maa-aineksesta. Kivet ja lohkareet poistetaan tunnistettavasta näytteestä ja jäljellä olevasta maa-aineksesta tarkastellaan onko se karkeaa vai hienoa sen perusteella tarttuuko maa-aines yhteen märkänä. Karkeasta maa-aineksesta erotetaan sora- ja hiekkalajitteet sen perusteella, onko suurin osa rakeista yli 2 mm. Hienon maa-aineksen siltti ja savi erotetaan toisistaan havaintojen ja käsin tehtävien kokeiden perusteella. (SFS- EN ISO 14688-1 2003, s.7.)

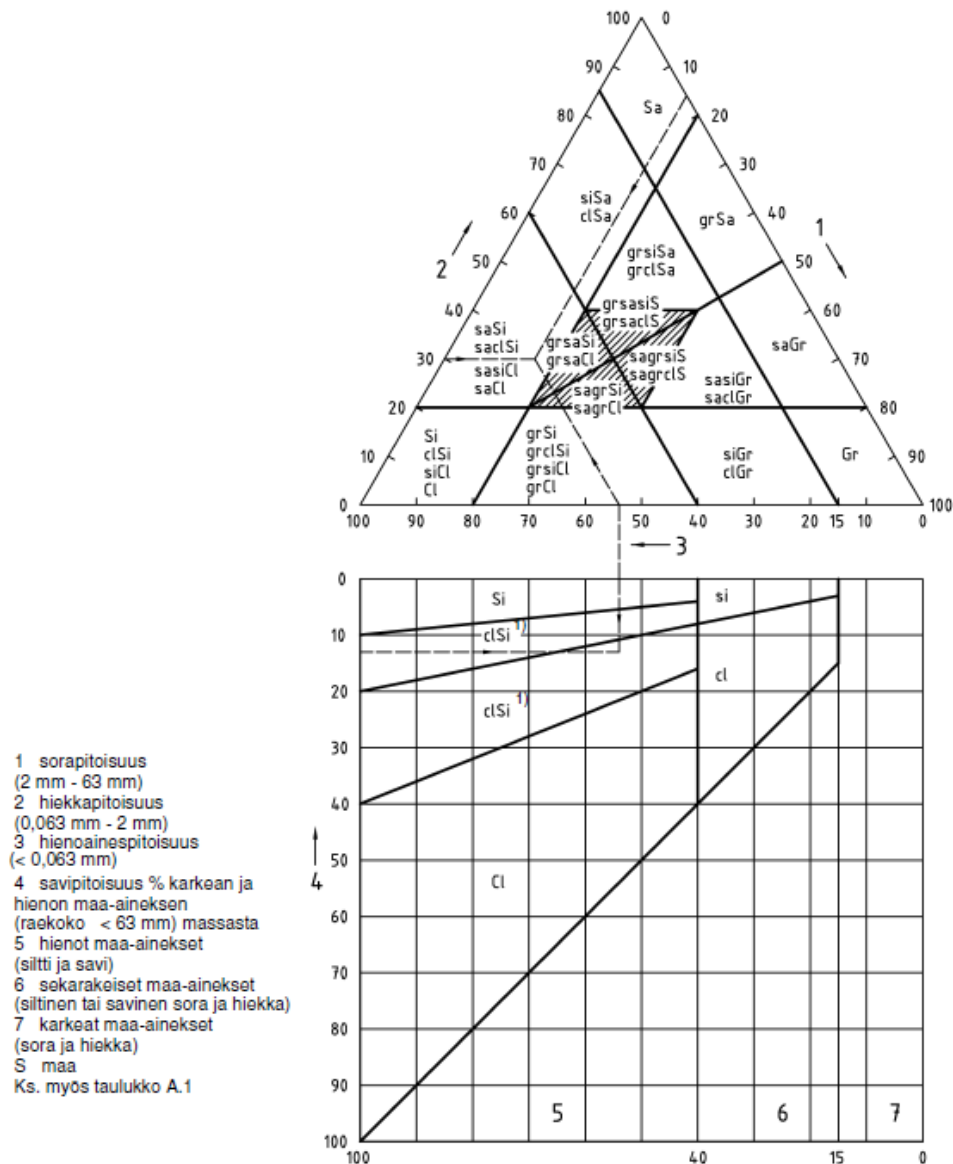
ISO-luokituksessa esitetyt silmämääräisiin havaintoihin ja käsin tehtäviin kokeisiin perustuvat tunnistusmenetelmät ovat pääpiirteittäin samat GEO-luokituksessa esitettyjen tunnistamismenetelmien kanssa, eivätkä menetelmät ole ristiriidassa. ISO-maaluokituksen toisessa osassa määritetyssä laboratoriokokeisiin perustuvassa maan luokittelussa on eroja osassa käytetyistä nimityksistä ja arvoissa GEO-luokitukseen verrattuna. (Lojander 2013, s.3–4.)

ISO-maaluokituksen peruslajitteet ovat maa-aineksia, jotka koostuvat vain yhden raekoalueen lajitteista (SFS-14688-1 2003, s.8). ISO-maaluokituksen raekokolajitteet eroavat GEO-luokituksesta hieman lajitteiden raekokojen rajoissa, jotka ovat ISO-luokituksessa 630...0,0063 mm ja GEO-luokituksessa 600...0,006 mm (Lojander 2013, s.7). Taulukossa 7 on esitetty ISO- ja GEO-luokituksen raekokolajitteet. Usein maat ovat sekaraakeisia, jolloin päälajitteen nimen eteen tulee yksi tai useampi toissijaisen lajitteen nimike. Toissijaisen lajitteen nimikkeet kirjoitetaan pienillä kirjaimilla. Tarvittaessa päälajitteen jälkeen voidaan merkitä välikerroksen lajite pienillä kirjaimilla alleviivattuna. (SFS-14688-1 2003, s.8.)

Kuvassa 4 on esitetty esimerkki maan luokituksesta rakeisuuteen perustuen. Kolmion akselilla 1 on sorapitoisuus, akselilla 2 hiekkapitoisuus ja akselilla 3 hienoainepitoisuus. Akseleilta piirretään lajitteen prosenttiosuuden kohdalta suorat kolmion keskelle. Suora piirretään kyseisen akselin oikeanpuoleisen kolmion sivun suuntaisesti. Akseleiden leikkauspiste sijoittuu kolmion alueelle, joka kertoo maalajin. Kolmion alapuolella olevasta neliöstä määritetään savipitoisuuden perusteella hienoaineksen lajitekoostumuksen määräävä nimi. (SFS 14688-2 2004, s.15.)

**Taulukko 7. ISO- ja GEO maaluokituksen raekokolajitteet. (Korhonen ym. 1974, SFS-14688-1 2003.)**

ISO	GEO	ISO	GEO	ISO	GEO	ISO	GEO
Maalajitteet	Päälajite	Alalajite	Alalajite	Tunnukset	Lyhennys	Raekoot	Raekoot
Hieno maa	Siltti	Savi		Cl	Sa	< 0,002	≤ 0,002
		Siltti		Si	Si	> 0,002 ... 0,063	> 0,002 ... 0,06
		Hieno siltti	Hieno siltti	FSi	Si	> 0,002 ... 0,0063	> 0,002 ... 0,006
		Keski siltti	Keski siltti	MSi	Si	> 0,0063 ... 0,02	> 0,006 ... 0,02
		Hieno siltti	Hieno siltti	Csi	Si	> 0,02 ... 0,063	> 0,02 ... 0,06
Karkea maa	Hiekka	Hiekka		Sa	Hk	> 0,063 ... 2,0	> 0,06 ... 2,0
		Hieno hiekka	Hieno hiekka	FSa	Hk	> 0,063 ... 0,2	> 0,06 ... 0,2
		Keski hiekka	Keski hiekka	MSa	Hk	> 0,2 ... 0,63	> 0,2 ... 0,6
		Karkea hiekka	Karkea hiekka	CSa	Hk	> 0,63 ... 2,0	> 0,6 ... 2,0
	Sora	Sora		Gr	Sr	> 2,0 ... 63	> 2,0 ... 60
		Hieno sora	Hieno sora	FGr	Sr	> 2,0 ... 6,3	> 2,0 ... 6,0
		Keski sora	Keski sora	MGr	Sr	> 6,3 ... 20	> 6,0 ... 20
		Karkea sora	Karkea sora	CGr	Sr	> 20 ... 63	> 20 ... 60
Hyvin karkea maa	Kivet	Kivet		Co	Ki	> 63 ... 200	> 60 ... 600
		Lohkareet	Pienet kivet	Bo	Ki	> 200 ... 630	> 60 ... 200
		Suuret lohkareet	Suuret kivet	Lbo	Ki	> 630	> 200 ... 600
	Lohkareet				Lo		> 600

**Kuva 4. Maan luokitus rakeisuuteen perustuen. (SFS-14688-2 2003, s.15.)**



## 2.2.4 Kaivuluokitus

Kaivuluokitus on kehitetty rinnan geoteknisen maaluokituksen kanssa ja niiden nimet mukailevat toisiaan. Kaivuluokitusjärjestelmän perustana on geoteknisessä maalajiluokituksessa esitetty maalajien luonnollinen ryhmitys. Kussakin kaivuluokassa kaivuvastus, kaivettavuus ja maapohjan kantavuus ovat likipitäen samat. Kaivuluokituksessa kaivuluokkina käytetään luonnollisia maalajiryhmiä, jotka on jaettu tarkemmin edelleen luokkiin 1–3. (Korhonen ym. 1971, s.67.)

Taulukossa 8 on esitetty kaivuluokat. Eloperäiset maalajit luokitellaan maalajin ja pui-suuden perusteella kaivuluokkiin. Hienorakeiset maalajit luokitellaan maalajin ja luokan H3 tapauksessa myös suljetun leikkauslujuuden perusteella kaivuluokkiin. Karkearakeiset maalajit luokitellaan maalajin, kivisyyden, lohkaraisuuden ja tiiviiden perusteella. Moreenimaalajit luokitellaan karkearakeisten maalajien tapaan kivisyyden, lohkaraisuuden ja tiiviiden perusteella. Kaivuvastus on useissa luokissa yhtä suuri. Suhteellinen kaivuvastus on laskettu niin että K1 ryhmän keskimääräinen kaivuvastus on merkitty 100:lla. (Korhonen ja Gardemeister 1974, s.69–71.)

**Taulukko 8. Kaivuluokitusperusteet. (Korhonen ja Gardemeister 1974, s.33)**

Maalajiryhmä	Kaivu-luokka	Maalajit	Puisuus Pu%	Kivisyys Ki %	Lohkarei-suus Lo %	Kuivatila-vuuspaino yd, Mp /m³	Suhteellinen kaivuvastus
Eloperäiset-maalajit	E1	Liejut,muta	-				5–15
	E2	Turpeet	< 30				10–30
	E3	Turpeet	< 30				20–40
Hienorakeiset-maalajit	H1	Savet					15–30
	H2	Siltit					20–50
	H3	Kuivakuori					> 50
Karkearakeiset-maalajit	K1	Hiekat		< 30			50–150
	K2	Sorat		30–50			50–150
	K3	Somero, Kivikko		> 50			200–300
Moreeni-maalajit	M1	Löyhät, kivettömät tai kiviset moreenit		< 30	< 10	< 1,9	150–300
	M2	Keskitiiviit, kivettömät tai kiviset moreenit		< 30	< 10	1,9–2,1	250–500
	M3	Tiiviit moreenit Runsaskiviset moreenit Lohkareiset ja runsaslohkareiset moreenit Louhikot		> 30	< 10 10–50 > 50	> 2,1	> 450

Kaivuluokitus sisältää lisäksi rakennettujen maakerrosten ja täytemaan kaivuluokat sekä louhoksen ja murskaustuotteiden kuormausluokituksen, joita ei käsitellä tässä työssä. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.71–72.)

## 2.3 Maalajien tunnistaminen

### 2.3.1 Tunnistamismenetelmät

Yksinkertaisin maalajin tunnistamismenetelmä on silmävarainen tarkastelu. Maalaji voidaan tunnistaa silmävaraisesti joko tunnistamalla geologinen muodostuma tai tunnistamalla maalaji. Tunnistamalla geologinen muodostuma saadaan usein tietoa myös maalajista ja sen ominaisuuksista, sillä maalajit esiintyvät usein itselleen tyypillisissä geologisissa muodostumissa. Geologisen muodostuman perusteella tunnistaminen vaatii tietämystä maaperän geologisesta rakenteesta ja geoteknisistä ominaisuuksista. Tunnistaja, jolla on kokemusta, voi tunnistaa suhteellisen luotettavasti maalajiryhmän tai maalajin silmävaraisesti. Maalajin määrittäminen tapahtuu usein erilaisilla käsin suoritettavilla tunnistamiskokeilla, joista yleisimmät on esitetty seuraavaksi. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.13.)

Kierityskokeella voidaan testata hienorakeisen näytteen plastisuutta tekemällä päätelmiä murtuneen rihman paksuudesta. Kokeessa kostea maanäytettä kieritetään esimerkiksi kämmenien välissä kohtalaisella paineella, puristetaan välillä palloksi ja kieritetään uudestaan. Koetta jatketaan kunnes vesipitoisuuden vähentyessä kieritettäessä syntyvä rihma alkaa katkeilla. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.14.)

Ravistuskokeessa kämmenellä olevaa maanäytettä ravistetaan vaakatasossa ja lyödään voimakkaasti toista kättä vasten. Näytettä puristetaan sormien välissä. Jos pusertaessa ilmestyy vettä, joka häviää puserruksen loputtua, on se merkki hienorakeisesta maalajista. Kokeessa käytettävän näytteen on oltava lähes vedellä kyllästetty. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.14.)

Kuivalujuuskoe suoritetaan puristamalla pienekköä kuivaa näytettä sormenpäillä. Näytteen mahdolliseen rikkoutumiseen tarvittavasta voimasta voidaan päätellä maalajin rakeisuus ja plastisuus. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.14.)

Kiillonmäärityskoe tehdään leikkaamalla kuivahkoa tai hieman kostea hienorakeista maanäytettä veitsellä. Leikkauspinnan kiillon perusteella voidaan päätellä maalajin plastisia ominaisuuksia. Näytteen pölyämisen perusteella voidaan arvioida kuivan karkearakeisen maalajin ja moreenin hienoainesmäärä sekä tunnistaa silttimaalaji. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.14.)

### 2.3.2 Hienorakeisten maalajien tunnistaminen

Hienorakeisia maalajeja ovat savet ja siltit. Savet ovat kosteina sitkeitä ja muovailtavia eli plastisia. Savi sisältää vähintään 30 % savilajitetta ja vaihtelevan määrän silttilajitetta. Saven savipitoisuutta voidaan arvioida sen plastisuuden avulla kierityskokeella. Mitä ohuempi rihma kierityskokeella saadaan, sitä plastisempaa savi on ja sitä suurempi on savipitoisuus. Jos savipitoisuus on yli 50 %, saadaan savesta yleensä muovailtua alle 1mm paksu rihma. Savipitoisuuden ollessa 20–30% saadaan savesta muotoiltua 1–2mm paksu rihma. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.17.)

Savimaalajeista ei yleensä erotu vettä ravistuskokeessa. Kuivaa savinäytettä ei voida rikkoa sormien välissä puristamalla. Vähän savilajitetta sisältävä näyte voidaan rikkoa sormien välissä kovalla puristusvoimalla. Hankamaalla kuivaa savinäytettä sormella tai liinalla voidaan päätellä näytteen savipitoisuus. Hankauskokeessa lihava yli 50 % savea sisältävä savinäyte ei jauhoa, kun taas vähän (20–50%) savea sisältävä näyte jauhoaa.

Lisäksi savinäytteen plastisuutta voidaan arvioida leikkauskokeella. Lihavan saven leikkauspinta on kiiltävä. Laihan vähäplastisen saven tai siltin leikkauspinta on sitä vastoin himmeä. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.17.)

Siltin päälajitteena on silttilajite, jonka raekoko on 0,002–0,063 mm. Siltti on luonnollisessa tilassa kosteana usein kiinteää, mutta muuttuu helposti juoksevaksi täristettäessä. Häiriintyneet siltit ovat joustavia ja venyviä, mutta eivät kuitenkaan muovaitavia. Hienorakeisesta siltistä voidaan saada kierityskokeella 2–3mm paksu rihma. Karkearakeisesta siltistä ei saada yleensä kieritettyä alle 3 mm rihmaa. Jos siltti näyte reagoi hitaasti ravistuskokeessa, eli veden ilmestyminen ja häviäminen on hidasta, on kyseessä savipitoinen siltti. Karkearakeisen siltin tapauksessa veden ilmestyminen ja häviäminen on nopeaa. Kuivalujuuskokeessa kuivan silttipalan saa rikottua sormien välissä puristamalla pölyäväksi jauhoksi. Kuivaa silttiä hangattaessa se pölyää ja leikattaessa veitsellä syntyy himmeä ja rakeinen pinta. Kuiva siltti on usein vaalean harmaata eikä kutistu kuivuessaan eikä siten myöskään halkeile. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.18.)

### **2.3.3 Karkearakeisten maalajien ja moreenin tunnistaminen**

Karkearakeisissa maalajeissa hiekassa ja sorassa yksittäiset rakeet voidaan nähdä paljaalla silmällä. Hiekan ja soran tunnistaminen on helppoa, sillä niiden raekoot voidaan arvioida silmämääräisesti tai tunnistaa mallikokoelman avulla. Hienon hiekan rakeet voidaan erottaa paljaalla silmällä, mutta siltin ei. Hiekan ja soran rakeet ovat usein puhtaita ja pyöristyneitä, eikä hienoainesta ole joukossa usein ollenkaan tai sitä on vain vähän. Jos näyte pölyää vähän ja rakeet ovat puhtaita, on näytteessä vain vähän hienoainesta. Jos hienoainesta on runsaasti (5–10 %), näyte pölyää voimakkaasti. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.19.)

Moreeni sisältää useita lähikokoisia lajitteita sekoittuneena ja siinä on aina vähintään 5% hienoainesta ja soralajitetta. Usein jotakin lajitetta on muita enemmän, jolloin moreeni nimitään siltti-, hiekka- tai soramoreeniksi. Moreenin tuntomerkkejä ovat terävasärmäiset kivet ja lohkaaret moreenimassan seassa. Lisäksi yksittäiset rakeet ovat likaisia ja pölyisiä. Kuiva ja löyhä hiekka- ja silttimoreeni pölyää runsaasti, jos se sisältää paljon hienoainesta. Tiivis ja kuiva moreeni sen sijaan muistuttaa betonimaista kovaa massaa. (Korhonen ja Gardemeister 1971, s.19.)

## 2.4 *Pohjatutkimusten ohjelmointi*

Geoteknisten tutkimusten tarkoituksena on selvittää maaperän, kallioperän ja pohjaveden olosuhteet ja määrittää maan ja kallion ominaisuudet sekä kerätä muuta merkityksellistä tietoa rakennuspaikasta. Geoteknisiin tutkimuksiin kuuluvat pohjatutkimukset sekä muut rakennuspaikkaan liittyvät tutkimukset kuten olemassa olevien rakenteiden arviointi ja rakennuspaikan ja alueen kehityshistorian selvittäminen. Standardissa EN1997-2 pohjatutkimukset jaetaan kolmeen vaiheeseen alustaviin tutkimuksiin, suunnittelua palveleviin tutkimuksiin ja valvontaan ja tarkkailuun. (EN1997-2 2007, s.21–23.)

Ennen pohjatutkimusohjelman suunnittelua arvioidaan käytössä olevat tiedot kirjoituspöytä tutkimuksena. Kirjoituspöytä tutkimukseen voidaan käyttää olemassa olevaa kartta-aineistoa kuten peruskarttoja, vanhoja kaupunkikarttoja, pohjavesikarttoja sekä maa- ja kallioperäkarttoja. Kirjoituspöytä tutkimuksessa hyödynnetään myös ilmakuvia, tietoa alueen historiasta ja aiemmasta toiminnasta alueella sekä vanhoja tutkimuksia. Ennen pohjatutkimusohjelman laatimista geosuunnittelija tekee alueella maastokatselmuksen, jossa rakennuspaikka havainnoidaan visuaalisesti ja samalla kerätään tietoa kartoittamalla maaston pinta. Kartoituksista tehdään usein pintamalli, jota hyödynnetään pohjatutkimusten ohjelmoinnissa ja myöhemmässä suunnittelussa. Maastokatselmuksessa tehtyjä havaintoja verrataan kirjoituspöytä tutkimuksen tietoihin. (EN1997-2 2007, s.21.)

Aiemmista suunnittelu- ja rakennushankkeista on usein käytettävissä vanhoja pohjatutkimustietoja, joita voidaan hyödyntää. Vanhojen tutkimustietojen luotettavuus ja käyttökelpoisuus mahdollisesti muuttuneissa olosuhteissa on kuitenkin arvioitava ennen tietojen hyödyntämistä ja liittämistä muuhun suunnitteluaineistoon. Lisäksi on arvioitava tarvitaanko vertailututkimuksia. (Tiehallinto 2008, s.28.)

Pohjatutkimusohjelmaa laadittaessa valitaan geotekninen tutkimusmenetelmä, joka soveltuu kohteen olosuhteissa tarvittavien geoteknisten ominaisuuksien määrittämiseen. Pohjatutkimusmenetelmän soveltuvuutta arvioitaessa on otettava huomioon tutkimusmenetelmällä saavutettava tutkimussyvyys, tavoitetason yläpuolisten kerrosten läpäisykyky, läpäistävien kerrosten erotuskyky ja ominaisuuksien määrittämis- ja tarkkuus. Lisäksi on huomioitava tarkkuus, jolla tutkittavat ominaisuudet halutaan määrittää. Tarvittaessa pohjatutkimusohjelmassa määritettyä tutkimusmenetelmää korjataan, jos työn aikana huomataan, että menetelmä ei sovellu kohteen olosuhteisiin. (Tiehallinto 2008, s.28.) Taulukossa 9 on esitetty tiehankkeissa käytössä olevat geotekniset tutkimusmenetelmät. Taulukko perustuu SFS-En 1997-2 standardissa esitettyyn vastaavaan taulukkoon, mutta siitä on poistettu Suomessa vähän käytetyt ja Suomen olosuhteisiin huonommin soveltuvat menetelmät. Taulukkoon on lisätty tavanomaisimmat geofysikaaliset tutkimusmenetelmät. (Tiehallinto 2008, s.28.)

**Taulukko 9 Pohjatutkimusmenetelmien soveltuvuus geoteknisten ominaisuuksien määrittämiseen (perustuu standardiin EN 1997-2) (TIEH, 2008 s.28)**

Käytännölliset menetelmät	Mandollisesti saatavat tulokset												Geofyysikaaliset mittaukset <sup>1)</sup>				
	Näytteenotto					Käytännölliset menetelmät							Pohjaveden mittaukset				
	Maa			Kallio									Avoin järjestelmä		Suljettu järjestelmä		
	Luokka A	Luokka B	Luokka C	Luokka A	Luokka B	Luokka C	CPT & CPTU	DP SH-A (heijastus)	WST (painokaus)	Porakonekallio	FVT (silppikallio)	ISII					
Perustiedot																	
Maalaji (päämaalaji)	C1 F1 M1	C1 F1 M1	C2 F1 M2	—	—	—	C2 F2 M3	F3 C2 M3	C3 F3 M3	C3 F3 M3	F3	—	—	—	C2 F1 M2	C1 M3	C1 F1 M1
Kivilaji	—	—	—	R1	R1	R2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	R2
Kerrosten laajuus <sup>2)</sup>	C1 F1 M1	C1 F1 M1	C2 F2 M2	R1	R1	R2	C1 F1 M3	C1 F2 M3	F2 C3 M1	C1 F2 M1	F1	—	—	—	C1 F1 M1	C1 M2 R1	C1 F1 M1
Pohjaveden korkeus	—	—	—	—	—	—	C2 M3	—	—	—	—	R2 C1	R1 C1	F1	C2 M3	C1 M3	C1 M1
Huokosvedenpaine	—	—	—	—	—	—	C2 F2 M3	—	—	—	—	R2 C1	R1 C1	F1	—	—	—
Geotekniset ominaisuudet																	
Rakaisuus (taakko)	C1 F1 M1	C1 F1 M1	C2 F1 M2	R1	R1	R2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Vesipitoisuus	C1 F1 M2	C1 F1 M2	C3 F3 M3	R1	R1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C2 F2 M2	—	—
Alterbergin rajat	F1 C1 M1	F1 C1 M1	—	—	—	—	C2 F2 M3	C2 M2	C3 F3 M3	C2 M2	—	—	—	—	—	—	—
Liikkuuslujuus	F1 C1 M1	C2 F3 M3	—	R1	R1	—	C2 F2 M3	C2 F3 M3	C2 F3 M3	C2 M2	F1	—	—	—	—	—	—
Kokoonpuristus	F1 C1 M1	C2 F3 M3	—	R1	R1	—	C1 F2 M3	C2 F3 M3	C2 M3	C2 M2	F3	—	—	—	—	—	—
Vedenläpäisy	F1 C1 M1	F1 C2 M2	C3 F3 M3	R1	—	—	C3 F2 M3	—	—	—	—	C2 F3	C2 F2	—	—	—	—
Agressiivisuus	C1 F1 M1	C1 F1 M1	—	R1	R1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Routavuus	C1 F1 M1	C1 F1 M1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Soveltuvuus:

R1

Hyvin kalliolla

C1

Hyvin karkearakeiselle maalle

F1

Hyvin hienorakeiselle maalle

—

ei soveltu

M1

Hyvin moreenille

2)

vaaka- ja pystysuunnassa

R3

Huonosti kalliolla

C3

Huonosti karkearakeiselle maalle

F3

Huonosti hienorakeiselle maalle

M3

Huonosti moreenille

Soveltuvuus:

R1 Hyvin kalliolla

C1 Hyvin karkarekseen maalle

F1 Hyvin hienorakseen maalle

— ei sovellettu

M1 Hyvin moreenille

1) referenssikaarekseen tarvitaan

2) vaaka- ja pystysuunnassa

R2 Keskinertaisesti kalliolla

C2 Keskinertaisesti karkarekseen maalle

F2 Keskinertaisesti hienorakseen maalle

M2 Keskinertaisesti moreenille

R3 Huonosti kalliolla

C3 Huonosti karkarekseen maalle

F3 Huonosti hienorakseen maalle

M3 Huonosti moreenille

Tiehallinnon ohjeessa pohjatutkimusten tekeminen jaetaan tien suunnittelu- ja rakentamisvaiheiden mukaisesti esiselvitysvaiheen pohjatutkimuksiin, yleissuunnitteluvaiheen vaihtoehtojen tarkastelun pohjatutkimuksiin ja yleissuunnitelman pohjatutkimuksiin, tie-suunnitelmavaiheen pohjatutkimuksiin sekä rakennussuunnitelmavaiheen pohjatutkimuksiin. Lisäksi rakennussuunnitelmaan tehdään tarvittaessa seuranta- ja laadunvalvontamittausohjelma. (TIEH 2008, s.41–49.)

Esiselvitysvaiheessa tehdään tarvittaessa pohjatutkimuksia, mikäli aiempia tutkimustuloksia ei ole riittävästi saatavilla. Yleissuunnitteluvaihe jakautuu vaihtoehtotarkasteluun

HUOM. Maapohjan ominaisuuksista (kuten maan tyyppiä, pohjaviesolosuhteista) ja aiotusta suunnitelmasta riippuen tutkimusmenetelmien valinta vaihtelee ja saattaa poiketa tästä taulukosta.

ja yleissuunnitelmaan. Vaihtoehtotarkastelussa arvioidaan eri vaihtoehtoja ja suunnitelmien toteutettavuutta. Vaihtoehtojen tarkastelussa pohjasuhdetiedot saadaan maastotarkastelusta, olemassa olevista tiedoista ja tarvittaessa uusista pohjatutkimuksista. Yleissuunnitelmaa varten valitusta vaihtoehdosta hankitaan koko suunniteltavan kohteen kattavat pohjasuhdetiedot, joiden perusteella voidaan suunnitella alustavasti kaikki pohjanvahvistukset. Pohjasuhdetiedot saadaan olemassa olevasta aineistosta ja tehtävistä pohjatutkimuksista. (Tiehallinto 2008, s.42–45.)

Tiesuunnitelmavaiheessa hankitaan pohjasuhdetiedot yksityiskohtaista rakenteiden suunnittelua varten. Tällöin otetaan huomioon väylien linjat ja tasaukset. Tutkimustulosten perusteella voidaan vertailla vaihtoehtoisia rakenteita teknisesti ja taloudellisesti, sekä selvittää niiden vaatima tila. Liitteessä 1 on esitetty tiesuunnitelmavaiheessa tehtävien pohjatutkimuksien ohjeellinen määrä. Tutkimuspisteiden määrä lisätään vähintään 3–5 pisteeseen muodostumaa tai rakennetta kohden selvitettäessä mm. rakenteen vakavuutta, pohjamaan painumista pehmeiköllä ja suunniteltaessa syvästabilointia. (TIEH 2008, s.45–47.)

Rakennussuunnitelmavaiheessa pohjatutkimukset tehdään koko alueelta niin kattavasti, että rakenteet voidaan suunnitella yksityiskohtaisesti. Suunnittelun yhteydessä tulee tarkistaa, että pohjatutkimusmäärät riittävät myös pienipiirteisesti vaihtelevissa olosuhteissa. Taulukossa 10 on esitetty pohjatutkimusten tavoitteet ja määrät rakennussuunnitelmassa ja suunnittele ja toteuta -urakan tiesuunnitelmassa. (TIEH 2008, s.45–47.)

Eurokoodi antaa teille pohjatutkimuksien suositusetäisyydeksi 20–200 m. Eurokoodissa on myös ohjeet tutkimussyvyyden määrittämiseksi. Tutkimussyvyys ulottuu aina rakenteen perustuksen alimman pisteen tai kaivannon pohjan alapuolelle. (EN1997-2, 2007 s.82.)

**Taulukko 10. Pohjatutkimusten tavoitteet ja määrät rakennussuunnitelmassa ja suunnittele ja toteuta -urakan tiesuunnitelmassa. (Tiehallinto 2008, s.48).**

Tutkimuksen tarkoitus	Selvitettävä ominaisuus	Tutkimuspisteväli tielinjan pituussuunnassa (1	Poikkileikkaus-tutkimus (1 (2	Tutkimuspisteiden lukumäärä / poikkileikkaus (3
<b>Pohjaolosuhteet tielinjalla</b>				
<b>Yleistutkimus pohjasuhteiden selvittämiseksi</b>				
Tutkimukset kaikissa Olosuhteissa	maakerrokset, kal-ionpinta	60 (... 20) m	60 (80... 20) m	2 (...4) kpl
<b>Pohjatutkimusten kohdentaminen</b>				
Tutkimukset kantavalla maalla	rakenteen mukaiset ominaisuudet	40 (... 20) m	40 (... 20) m	2 (...4) kpl
Tutkimukset pehmeiköllä	rakenteen mukaiset ominaisuudet	20 m	20 (... 10) m	2 (...4) kpl
Nykyiset penkereet (6	penkereen rakenne ja perustamistapa	40 (... 20) m	40 (... 20) m	1 (...3) kpl
<b>Rakenteiden tutkimukset</b>				
Rakenteen tai rakennusosan raja	rajakohdan selvittäminen (4	20 (... 10) m	20 (... 10) m	2 (...4) kpl
Rakenteen vaatima tutkimusmenetelmä (5	rakenteen mukainen geotekninen ominaisuus	20 (... 10) m	20 (... 10) m	1 (...3) kpl

(1 Tutkimuspisteväliä tihennetään, kun pohjasuhteet muuttuvat pienipiirteisiksi tai harvennetaan, jos olosuhteet muuttuvat hyvin homogeenisiksi.

(2 Tutkimuspisteväliä tihennetään ja tutkimuspoikkileikkausta levitetään, kun pohjasuhteet tai topografia muuttuu tielinjan poikkisuunnassa.

(3 Tutkimuspisteiden tulee kattaa koko suunniteltava poikkileikkaus. Lisäksi otetaan huomioon ympäristövaikutusten selvittäminen.

(4 Tutkimuspisteitä voidaan vähentää, jos rajakohta voidaan tarkentaa rakennustyön aikana.

(5 Käytetään luvun 7 mukaista rakenteelle soveltuvaa tutkimusmenetelmää.

Jos yhtä luotettava tulos on johdettavissa esimerkiksi pohjaolosuhteiden tutkimuksesta, ei rakennekohtaista menetelmää tarvitse käyttää

(6 Nykyinen penger tutkitaan, kun sen rakenteella tai perustamistavalla on vaikutusta uuden suunnitelman toteuttamiseen.

## 2.5 Pohjatutkimusmenetelmät

### 2.5.1 Koekuoppa

Koekuoppa soveltuu kalliopinnan ja maakerrosrajojen selvittämiseen erityisesti kivisissä hiekka- ja soramaissa ja moreenimaissa. Koekuopan syvyyttä rajoittaa pohjavesi ja kaivinkoneen kaivussyvyys. Traktorikaivurilla kaivussyvyys rajoittuu n. 3,5–4 m. (SGY 1984, s.4.) Kaivinkoneella voidaan kaivaa syvemmälle. Koekuoppaa voidaan käyttää myös olevien rakenteiden ja erityisesti niiden perustuksien tyyppi- ja sijaintitietojen selvittämiseen. (Häkkinen 2014.) Koekuoppaa voidaan käyttää suunnitteluvaiheen lisäksi rakentamisvaiheessa työtä ohjaavana pohjatutkimuksena.

Koekuopan avulla voidaan selvittää maalajien kerrosrajat, kallionpinnan taso ja pohjavedenpinnan taso. Koekuoppaa kaivettaessa saadaan tärkeää tietoa maaperän kivisyydestä ja lohkaraisuudesta sekä kaivettavuudesta. Lisäksi saadaan tietoa pohjaveden virtaamisesta kuoppaan ja veden vaikutuksesta kuopan seinämien sortumiseen. Koekuopasta voidaan ottaa häiriintyneitä maanäytteitä. Näytteitä voidaan ottaa epähomogeenisessa maassa jokaisesta maakerroksesta erikseen. Lisäksi koekuopasta otetut valokuvat saattavat kertoa arvokasta tietoa suunnittelijalle, joka ei ole päässyt paikalle. (SGY 1984, s.4.)

Koekuopasta tehdään pöytäkirja, johon merkitään kaikki kuoppaa kaivettaessa tehdyt havainnot. Koekuopasta otetut valokuvat havainnollistavat tehtyä pöytäkirjaa. Pöytäkirjaan merkitään myös mistä maakerroksista otetut näytteet ovat.

### 2.5.2 Painokairaus

Painokairaus on pääasiassa pohjoismaissa (TIEH 1998, s.19.) käytetty kairausmenetelmä, jossa kaira saadaan tunkeutumaan maahan staattisen kuormituksen avulla. Painokairauksen avulla voidaan selvittää maan kerrosrajojen likimääräinen sijainti ja arvioida maalaji kairausvastuksen ja kairan käyttäytymisen perusteella. (SGY 1980, s.4.)

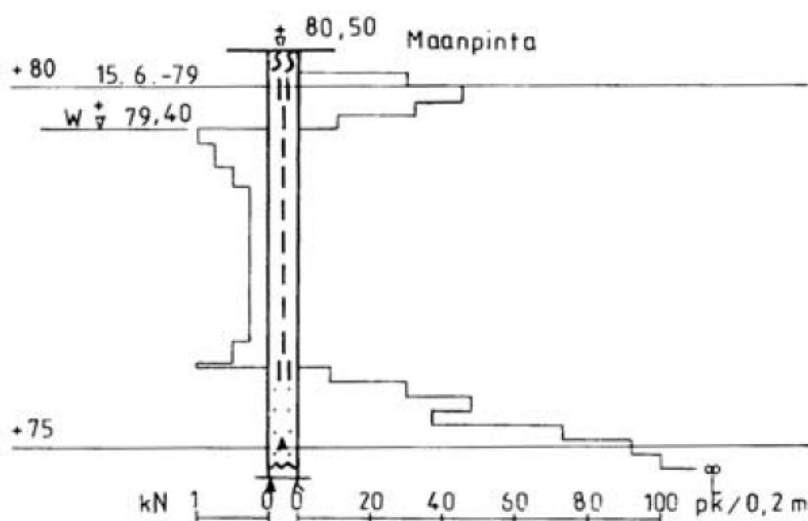
Nykyisin painokairaus suoritetaan monitoimikairavaunulla. Aiemmin painokairaus on suoritettu käsin tai moottoripainokairalla. Periaate kairauksen suorittamisessa kaikissa tapauksissa on sama. Painokairauksessa kairaa kuormitetaan vakioportaittain niin, että saavutetaan kuormitus, jolla kaira tunkeutuu maahan. Jos kairan tunkeutumisnopeus laskee tarpeeksi käytettäessä maksimi painoa (1kN), jatketaan painokairausta kiertämällä. Jos kaira ei tunkeudu tarpeeksi maahan kiertämällä, voidaan kairaa lyödä nuijalla. Kairaus lopetetaan, jos kaira ei tunkeudu maahan lyömälläkään. Kairauspöytäkirjaan kirjataan arvio siitä, onko kairaus päättynyt määräsyvyyteen, tiiviiseen maakerrokseen, kiveen tai lohkareseen tai kallionpintaan. (ISO/TS 22476-10 2005, s.3.)

Painokairauksesta kerätään tietoa tekemällä havaintoja. Nykyään monitoimikairalla tehtävissä kairauksissa kairauksesta saatavat ääni- ja tuntuhavainnot ovat vähentyneet, ja heikentävät maalajin tunnistamista painokairauksen perusteella. Erityisesti käsin kairatessa kairan kärjen maahan tunkeutuessa aiheuttamasta äänestä kokenut kairaaaja voi yhdessä tuntuhavaintojen ja kairan käyttäytymisen perusteella päätellä maalajin. Kairan kärjen ollessa savikerroksessa voi kuitenkin esimerkiksi ylempänä olevan hiekkakerroksen hankautuminen kairatankoon aiheuttaa ääntä, joka saattaa hämätä äänihavaintoja tulkittaessa. (SGY 1980, s.5.)



Painokairauksesta piirretään pöytäkirjamerkintöjen perusteella kairausvastusdiagrammi. Kairausvastus määritetään kairan tunkeutumiseen tarvittavasta voimasta, joka on enintään 1 kN, ja enimmäiskuorman jälkeen tietyn painuman saavuttamiseksi tarvittavien puolikierrosten määrästä. Kairausvastusdiagrammissa pystypilarin vasemmalla puolella esitetään kairan tunkeuma tietyllä kuormituksella. Pystypilarin oikealla puolella esitetään 0,2 m painumaan tarvittavien puolikierrosten lukumäärä. Kuvassa 5 on esimerkki painokairauksen kairausvastusdiagrammista. (SGY 1980, s. 6-7.)

Painokairaus soveltuu erityisen hyvin selkeisiin pohjaolosuhteisiin maalajien kerrosrajojen selvittämiseen. Painokairausta voidaan käyttää myös suuntaa-antavasti maalajien tiiveyden ja lujuuden arviointiin. (TIEH 1998, s.19.) Hienorakeiset maat voidaan tunnistaa painokairauksella kairan tunkeutumisesta kiertämättä varsinkin pohjavedenpinnan alapuolella. Pohjavedenpinnan yläpuolella kiertäminen voi olla tarpeen. Savesta ja siltistä ei kuulu ääntä kairattaessa. Hiekkaan ja soraan kaira tunkeutuu yleensä vain kiertämällä. Sorassa kairausvastus on yleensä suuri ja vaihteleva. Hiekasta kuuluu sihisevä tai joskus narskahteleva ääni ja sorasta selvästi narskahteleva, rahiseva tai kirskahteleva ääni. Moreeneihin kaira ei yleensä tunkeudu kiertämällä, vaan sitä joudutaan lyömään. Moreeneissa kairausvastus on hyvin suuri ja kairaus pysähtelee. Moreeneista kuuluu epämääräisen säröinen ja voimakkuudeltaan vaihteleva ääni. (SGY 1980, s.13.) Painokairauksella voidaan erottaa erityisesti kerrosrakenteita, joissa on karkeudeltaan selkeästi erilaisia maalajeja. Erilaisten savi ja silttikerrosten erottelemiseen painokairausta parempi menetelmä on CPTU-kairaus. (TIEH 1998, s.50.) Liitteessä 2 on esitetty maalajien tunnistaminen painokairauksen havaintojen perusteella.



Kuva 5 Painokairauksen kairausvastusdiagrammi. (SGY 1980, liite 5a)

### 2.5.3 Heijarikairaus

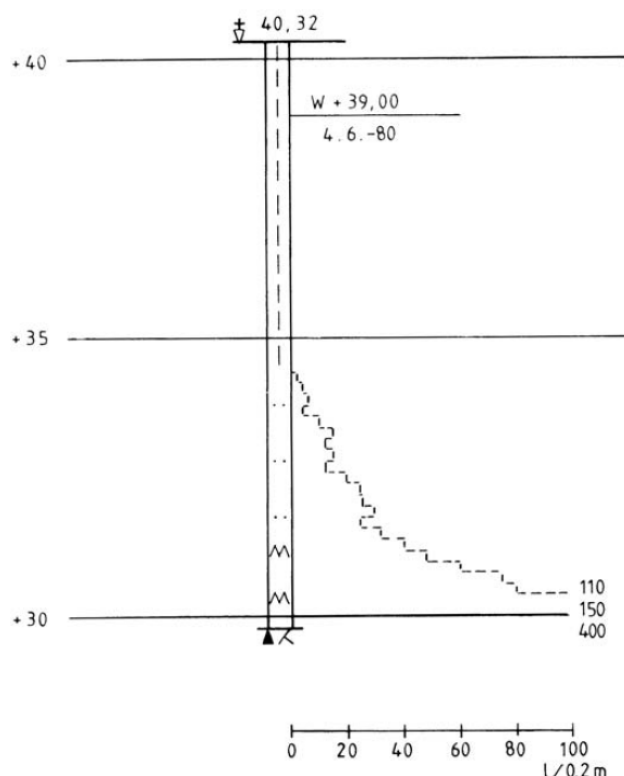
Heijarikairaus on dynaaminen kairausmenetelmä, joka voidaan suorittaa monitoimikairavaunulla. (Geomachine 2014.) Heijarikairauksessa kaira tunkeutuu maahan heijarin lyöntien vaikutuksesta. Kairauksesta saadaan kairausvastus laskemalla kairan tunkeutumiseen syvyysyksikköä kohti tarvittavien lyöntien määrä. (SGY 1980, s.9.)

Heijarikairauksesta on olemassa eri menetelmiä. Suomessa on ollut käytössä heijaripukikairaus ja vapaapudotusheijarikairaus. Eurooppalaisen standardin mukaiset menetelmät ovat vapaapudotusheijarikairauksia. Näitä menetelmiä ovat kevyt heijarikairaus, keskiraskas heijarikairaus, raskas heijarikairaus sekä superraskaat heijarikairaukset A ja B. Kairaukset eroavat toisistaan iskua kohti käytetyn energian suuruuden perusteella. Tässä luvussa käsitellään nykyään käytössä olevien vapaapudotusheijarikairauksien suorittamista ja tulkintaa. ( EN ISO 22476-2 2005, s. 9, SGY 1980, s.10.)

Heijarikairauksessa heijari putoaa vakiokorkeudelta vapaasti lyöntialustalle, joka on kairatankojen päällä. Kaira tunkeutuu maahan lyönnin aiheuttamasta voimasta. Kairatankoja pyöritetään vähintään 1m tunkeuman välein ja mitataan tarvittava maksimi vääntövoima. Heijarikairaus lopetetaan, jos tavoitesyvyys saavutetaan tai kairaus päättyy kiveen, loh-kareeseen, kallioon tai tiiviiseen maakerrokseen. ( EN ISO 22476-2 2005, s. 10.)

Heijarikairauksesta pidetään kairauspöytäkirjaa, johon merkitään menetelmästä riippuen 0,1 tai 0,2 metrin tunkeumaan tarvittavien lyöntien määrät. Lisäksi pöytäkirjaan merkitään yleiset tiedot kairauksesta ja kaikki kairaukseen ja kairan käyttäytymiseen liittyvät havainnot kuten pohjavedenpinnan syvyys, kairan painuminen ilman iskuja tai epätavallisen pieni iskujen määrä. Kairauksesta tehdään kairausdiagrammi, jossa on esitetty iskujen määrä 0,1 tai 0,2 m tunkeumaa kohti, maksimi vääntömomentti kullakin koesyvyydellä ja yli 5min keskeytykset kairauksessa. Kuvassa 6 on esitetty heijarikairauksen kairausvastuspiirros. ( EN ISO 22476-2 2005, s. 12.)

Heijarikairaus soveltuu erityisesti maakerrosrajojen määrittämiseen yhdessä muiden menetelmien kanssa. Kairaus soveltuu lisäksi karkearakeisten maalajien ja moreenimaalajien tiiveyden arviointiin kairauksen kairausvastuksen perusteella. Savi ja silttimaalajien geoteknisten ominaisuuksien selvittämiseen luotettavasti heijarikaira ei sovellu. Kairauksella voidaan selvittää tukipaalujen lyöntisyvyys tai tiiviin pohjakerroksen syvyys, kun päällä on suhteellisen kivetöntä maata. Heijarikaira tunkeutuu tiiviisiin maakerrokseen hieman painokairausta paremmin. Maalajien kerrosrajojen selvittäminen on kuitenkin painokairausta epävarmempaa. Tietyissä olosuhteissa kairauksella voidaan arvioida myös kallionpinnan taso. Kallion voidaan usein erottaa lohkarkeesta kairan terävän kimpoamisen ja kairauksesta kuuluvan helähtävän kirkkaan äänen perusteella. Myös tiiviissä kivisessä moreenissa voi tapahtua kimpoamista. (SGY 1980, s.11.)



Kuva 6 Heijarikairauksen kairausvastuspiirros (SGY 1980, LIITE 9)

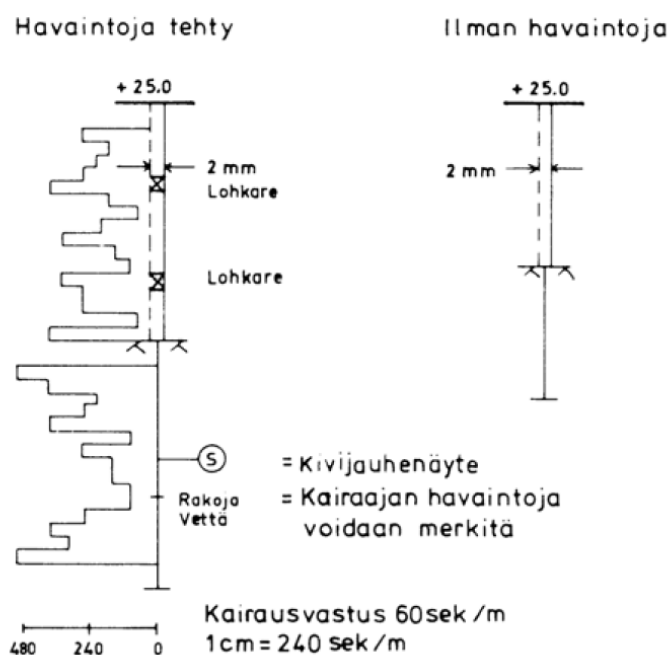
## 2.5.4 Porakonekairaus

Porakonekairauksessa kairatanko ja sen päässä olevaa porakruunu tunkeutuu porakoneen isku- ja pyöritysvoiman ansiosta maahan tai kallioon. Porakonekairaus suoritetaan monitoimikairavaunulla. Kairauksia käytetään erityisesti kallionpinnan tason määrittämiseen. Muita käyttökohteita porakonekairaukselle ovat kallion pintanäytteen otto, kalliolaadun arviointi, maanäytteen otto, pohjavesiputkien asennus, täytemaakerrosten läpäisy, presometri ja muiden in-situ mittausten tekeminen sekä työputkien asennus. (SGY 1986, s.3.)

Suomen maaperän rakenteessa on maakerroksien alla kallio, jonka lujuus ja kairausvastus ovat huomattavasti päällä olevia maakerroksia suurempia. Porakonekairauksessa kairan kärki saadaan tunkeutumaan maakerrosten läpi kallioon. Kairattaessa saavutettu kallionpinnan taso voidaan havaita kairan tunkeutumisnopeuden äkillisestä pienenemisestä ja sen säilymisestä pienenä. Kallion pinnan saavuttamisen jälkeen porakonekairausta jatketaan 3 m, jotta varmistetaan että kyseessä on todella kallio eikä kivi tai lohkar. Joskus kallionpinnan tarkka määrittäminen voi olla hankalaa, jos kallion pinnan päällä on kiven tai lohkarainen kerros tai jos rikkonaisen kallionpinnan päällä on tiivistä kitkamaata. Tällöin kallion ja maan rajapintaa ei pystytä välttämättä määrittämään tarkasti. (SGY 1986, s.3.)

Kairauksesta tallennetaan kairauksen etenemiseen kuluva aika ja kairaukseen käytetty puristusvoima. Puristusvoiman ja etenemisnopeuden suhdetta kutsutaan maa- tai kalliovastukseksi. Porakonekairausta joka rekisteröi tietoja, kutsutaan MWD-kairaukseksi. (Leivo 1998, s.22–24.) Maa- tai kalliovastusta käytetään kairauksen tulkintaan. Kuvassa 7 on esitetty kaksi porakonekairauksen kairausdiagrammia, joihin toiseen on piirretty tehdyt havainnot ja kairauksen etenemisnopeus ja toiseen ei. Kummassakaan kuvassa ei ole esitetty maa- tai kalliovastusta.

Porakonekairauksesta varmimmin saatava tieto on kallionpinnan sijainti. Kairauksen aikana pyritään myös havaitsemaan maalajien kerrosrajoja ja arvioimaan maalajeja. Tarkkojen havaintojen tekeminen on kuitenkin haastavaa, sillä porakonekalusto on tehokas ja kairaus nopea suorittaa. Porakonekairauksen perusteella voidaan havaita selkeät tiiviin/kovan ja löyhä/pehmeän maalajikerrosten rajat. Lisäksi voidaan arvioida maaperän kivisyttä. (Leivo 1998, s.81.) Hienorakeisten maalajien siltin ja saven erottamiseen toisistaan porakonekaira ei ole riittävän herkkä (Häkkinen 2014).



Kuva 7 Porakonekairauksen kairausdiagrammi (SGY 1986, s.12)

### 2.5.5 CPT- ja CPTU-kairaus (puristinkairaus)

Tässä luvussa käsitellään puristinkairausta huokosvedenpainemittauksella eli CPT-kairausta, joka on kehittyneempi versio puristinkairauksesta eli CPT-kairauksesta. CPT-kairauksen erona CPTU-kairaukseen on että CPT-kairauksessa ei mitata huokosvedenpainetta. (EN ISO 22476-1 2012, s.1)

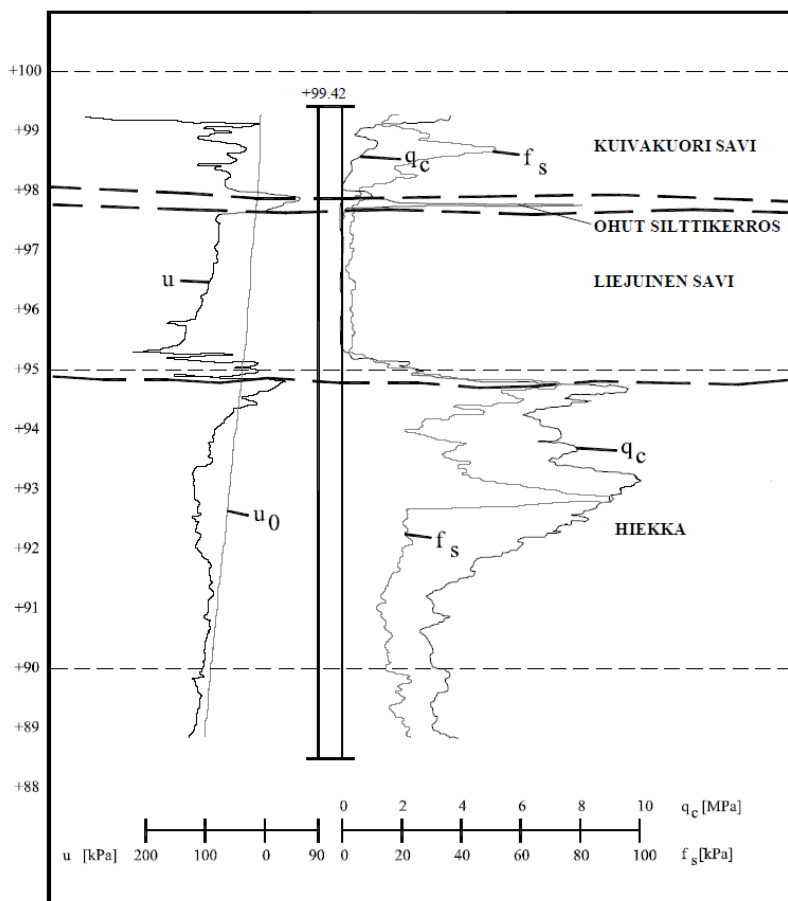
CPTU-kairaus soveltuu hyvin maakerrosten ja niiden lujuusominaisuuksien selvittämiseen koheesiomaalajeissa ja löyhissä kitkamaissa. Soraa karkeammissa maissa mittaukset eivät Suomessa onnistu. Ohuiden välikerrosten rekisteröinnissä ongelmana on yläpuolisten ja alapuolisten maiden vaikutus mittaustuloksiin. Mittaustulokset ovat luotettavia, kun tiivis välikerros on 0,4–0,7 m paksu ja löyhä välikerros 0,2–0,4 m paksu. (SGY 2001, s.43.)

CPTU-kairauksessa kairaa puristetaan ilman kiertämistä ja lyömistä maahan vakionopeudella ja samalla kairan kärjestä mitataan kärkivastusta, vaippakitkaa ja huokospainetta. (SGY 2001, s.7.) Kärkivastus saadaan jakamalla mitattu kärkivoima kärjen poikkipinta-alalla. Kairattaessa kärkeen kohdistuva huokosvedenpaine aiheuttaa virhettä kärkivoiman mittauksessa. Kärkivastus voidaan korjata huokosvedenpaineen mittaustulosten avulla kokonaiskärkivastukseksi. Vaippakitka lasketaan jakamalla mitattu vaippahylsyyn koh-

distuva voima vaipan pinta-alalla. Myös vaippakitkan arvoon vaikuttaa kärkeen kohdistuva vedenpaine ja vaippakitka voidaan korjata huokosvedenpaineen mittauksen avulla kokonaisvaippakitkaksi. (SGY 2001, s.10–11.)

Puristinkairauksen tuloksia tulkitaan usein silmämääräisesti kairausdiagrammia tarkastelemalla ja ottamalla huomioon kairajan tekemät ja ylös kirjaamat havainnot. Kairauksen tulkinnasta on lisäksi olemassa luokitusdiagrammeja maalajien määrittämiseen. (Kairausopas 6 2001, s.44–45.) CPTU-kairauksen tuloksien tulkintaa varten on kehitetty paljon kaavoja ja käyrästöjä ulkomaisesta aineistosta geoteknisten parametrien määrittämiseksi. Näin arvioituja parametreja ei kuitenkaan saa käyttää yksinään geoteknisen mitoituksen lähtötietona, eivätkä ne sovellu Suomen olosuhteisiin. (SGY 2001, s.49.)

Kuvassa 8 on esitetty CPTU-kairausdiagrammin tulkinta. Kuvassa kairausdiagrammin oikealla puolella on esitetty kärkivastus ( $q_c$ ) ja vaippakitka ( $f_s$ ) ja vasemmalla puolella on esitetty kairauksessa mitattu huokospaine ( $u$ ) sekä vallitseva huokospaine ( $u_0$ ). Kairaus on aloitettu poikkeuksellisesti kairaamalla maan pintaosassa olevan kuivakuorikerroksen läpi. Tyypillisesti savella on tasainen tai hieman syvyyden mukaan kasvava kairausvastus ja vaippakitka. Kuvassa lieju erottuu savesta pienemmän kärkivastuksen perusteella. Diagrammin ohut silttikerros erottuu terävänä piikkinä ja huokosvedenpaineen laskuna kerroksen kohdalla. Paksuille silttikerroksille tyypillistä on terävät vaihtelut kärkivastuksessa ja savea suurempi vaippakitka, joka vaihtelee hieman. Hiekkakerroksissa kärkivastus vaihtelee huomattavasti silttiä loivemmin. Hiekan vaippakitka voi olla tasarakeisessa hiekassa saven kaltainen, mutta kivisessä maaperässä vaihtelu voi olla suurta. Hiekalle on tyypillistä, että huokosvedenpaine on lähes sama kuin maassa oleva vallitseva huokosvedenpaine. (SGY 2001, s.45–46.)



Kuva 8 Esimerkki CPTU-kairausdiagrammin tulkinnasta (SGY 2001, s.45)

## 2.5.6 Puristin-heijarikairaus

Puristin-heijarikairaus yhdistää kahden kairausmenetelmän, puristinkairauksen ja heijarikairauksen hyvät puolet. Puristinkairaus soveltuu hyvin pehmeiden ja kivettömien maiden tutkimiseen. Puristinkairan maksimipuristusteho ei kuitenkaan riitä tiiviisiin ja karkearakeisiin kitkamaihin ja lisäksi sen karkiosa on vaurioitumisherkkä. Heijarikairaus soveltuu tiiviisiin ja karkearakeisiin kitkamaihin, joissa sillä voidaan selvittää tiiviin maakerroksen raja tai paalujen tunkeutumissyvyys. (SGY 2001, s.59.)

Kairaus aloitetaan aina mahdollisen alkukairauksen jälkeen puristinkairauksella. Puristinkairausta jatketaan kunnes saavutetaan laitteiston maksimipuristusvoima. Puristinkairauksen aikana kairatankoja puristetaan ja pyöritetään samanaikaisesti. Kairatankojen pyörittäminen vähentää tankojen ja maan välistä kitkaa ja tankojen poikkeamista halutusta suunnasta (SGY 2001, s.70–71). Tämän jälkeen siirrytään heijarikairaukseen. Heijarivaiheessa heijaria pudotetaan vakio korkeudelta. Kairatankoja pyöritetään myös heijarivaiheessa vakionopeudella. (SGY 2001, s.63) Heijarikairauksesta siirrytään takaisin puristinkairaukseen, kun kairan painumiseen tarvittavien lyöntien määrä tippuu tarpeeksi. Jos maakerrokset vaihtelevat tiheästi, kairaustapaa ei tule vaihtaa usein, jotta kairaustulosten tulkinta ei vaikeutuisi. Puristin-heijarikairaus tulee aina päättää heijarikairaukseen. (SGY 2001, s.71.)

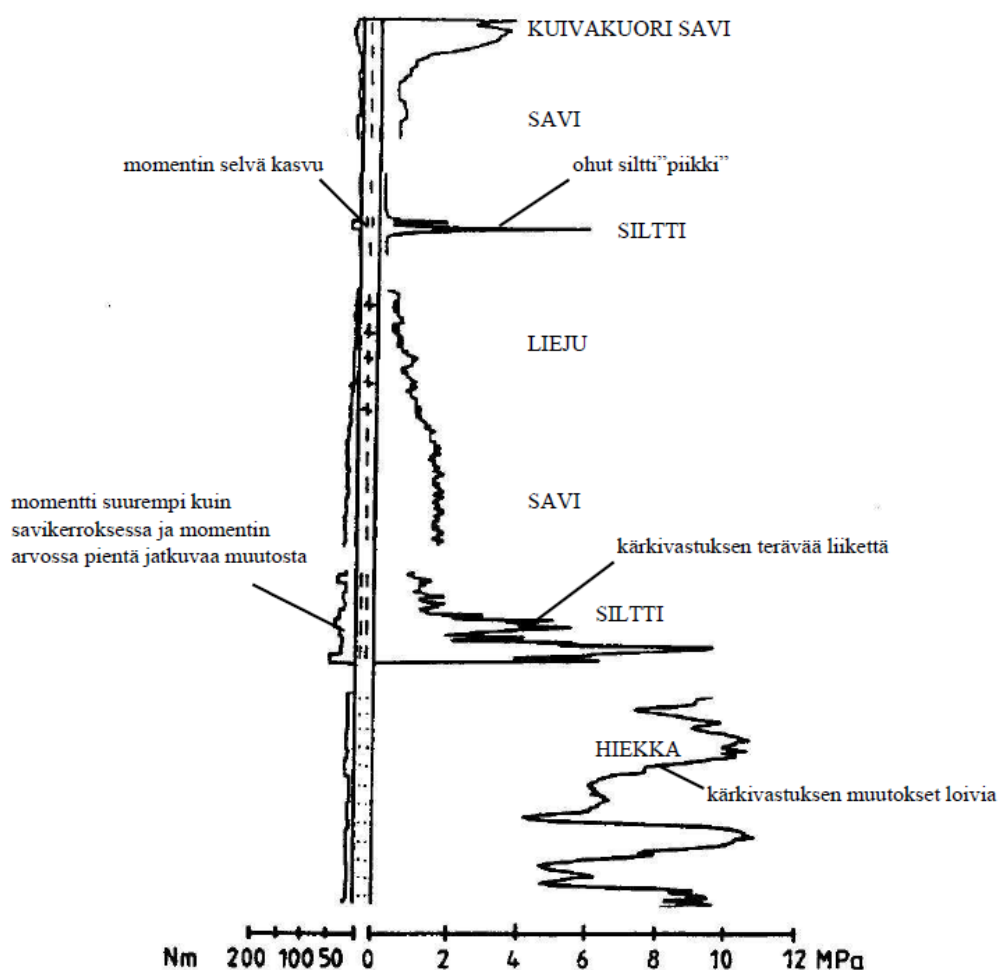
Puristin-heijarikairauksesta mitataan puristusvoimaa, vääntömomenttia, lyöntien määrää, kairausssyvyyttä ja pyöritysnopeutta (SGY 2001, s.61). Pyöritysnopeutta mitataan kairauksen valvomiseksi, mutta tuloksia ei tallenneta. Puristin-heijarikairauksen kokonaispuristusvoima on mitatun puristusvoiman ja tankojen painosta aiheutuvan lisävoiman summa. Kokonaiskärkivastus saadaan jakamalla kokonaispuristusvoima kairan kärjen poikkipinta-alalla. Kokonaiskärkivastuksesta voidaan laskea nettokärkivastus vähentämällä siitä hankauksesta aiheutuva osuus, joka lasketaan vääntömomentin avulla ja huomioimalla laitteiston kitkan osuus. (SGY 2001, s.65.)

Puristin-heijarikairausta tulkitaan kairauksesta piirretyn kairausdiagrammin perusteella. Kairausdiagrammin pylvään oikealla puolella on esitetty kärkivastus ja iskut. Tarvittaessa esitettävä vääntömomentti esitetään kairausdiagrammin pylvään vasemmalla puolella. (SGY 2001, s.73.) Kairausdiagrammin lisäksi tärkeää tietoa ovat kairaajan kairauksen aikana tekemät havainnot. (SGY 2001, s.74). Puristin-heijarikairauksen tuloksista voidaan CPTU- kairauksen tavoin arvioida geoteknisiä parametreja CPTU-kairauksen tulkintaa varten kehitettyjen teoreettisten kaavojen ja määrittyskriteerien perusteella. (SGY 2001, s.78.)

Maalajit arvioidaan puristin-heijarikairauksesta nettokärkivastuksen ja kairaajan tekemien havaintojen perusteella. Kuvassa 9 on esitetty puristin-heijarikairauksen kairausdiagrammi, jossa näkyy tyypilliset puristinvaiheen kuvaajat. Saven kairausvastus ja momentti ovat tyypillisesti tasaisia tai hieman nousevia. Savisen liejun kärkivastus on normaalisti pienempi kuin savella. Liejulle tyypillistä on kärkivastuksen syvyysuuntainen kasvu. Ohuet silttikerrokset erottuvat piikkeinä kärkivastuksessa ja usein myös momentin selvänä kasvuna kerroksen kohdalla. Myös paksummissa silttikerroksissa kärkivastuksen vaihtelut ovat teräviä ja momentti on suurempi kuin savella ja vaihtelee usein hieman.

Hiekassa kärkivastuksen vaihtelut ovat loivempia kuin silteillä. Kivettömien tasarakeisten hiekkojen momentti voi olla saven momentin kaltainen, mutta kivisessä maaperässä momentti voi vaihdella paljonkin. (SGY 2001, s.76.)

Heijarivaiheessa siltin ja hiekan erottaminen on vaikeampaa kuin puristusvaiheessa. Kivettömässä hiekassa ja siltissä lyöntiluku on usein tasainen ja hyvin samanlainen. Siltin momentti on kuitenkin yleensä hiekkaa tasaisempi. Moreenin erottaminen hiekasta on helpompaa. Moreenin lyöntiluku on yleensä selvästi hiekkaa suurempi ja sen momentissa on normaalisti suuriakin vaihteluja. (SGY 2001, s.76.)



Kuva 9 Esimerkki puristin-heijarikairauksen tulkinnasta puristusvaiheessa. (SGY 2001 s. 77.)

## 2.6 *Maaperämalli*

Suurimpien infratilaajien tavoitteena on siirtyä tietomallintamisen käyttöön vuodesta 2014 alkaen. Tavoitteesta on syntynyt tarve kehittää yhteinen näkemys siitä mitä ja miten mallinnetaan hankkeiden eri vaiheissa. Rakennustietosäätiön erityispäätoimikunta buildingSMART Finland tulee julkaisemaan Yleiset inframallivaatimukset 2014. Yleisten inframallivaatimusten luonnoksissa on ohje, joka koskee lähtötietojen vaatimuksia ja lähtötilamallia. (InfraBIM 2014.) Ohjeluonnoksessa maaperämalli on osa nykytilamallia. Maaperämaaliaineistoon kuuluu olemassa olevat pistemäiset pohjatutkimustiedot, avokalliot, tulkitut maalajirajapinnat ja pohjavesitiedot. (Liukas ja Virtanen 2014, s.6.)

Maalajienrajapintojen tulkinta perustuu topografiaan ja pohjatutkimusten tuloksiin. Erillisiä rajapintoja ovat esimerkiksi kallionpinta tai saven alapinta. Rajapinnat muodostuvat pisteistä, viivoista ja niistä muodostuvista kolmiopinnoista. (Liukas ja Virtanen 2014, s.14.)

Maalajien rajapintojen mallintamiseen ja tietomallipohjaisen mallin käyttämiseen liittyy useita aineiston luotettavuuteen ja vastuuseen liittyviä tekijöitä. Maaperämalliin liittyy kysymys mallin oikeellisuuden vastuusta, sillä maalajien rajapinnat ovat tulkintaa. Malleja tehdään eri käyttötarkoituksia varten, jolloin on tärkeää saada tieto käyttötarkoituksesta siirtymään eteenpäin. Esimerkiksi eri suunnitteluvaiheessa voidaan mallintaa eri tarkkuudella, jolloin mallissa ei ole kaikkea seuraavaan vaiheeseen tarvittavaa tietoa. Lähtötietomallia tehtäessä on tärkeää dokumentoida kaikki aineiston alkuperään, riskeihin ja epävarmuuksiin liittyvät tiedot sekä aineiston metatiedot ja erityishuomiot. (Liukas ja Virtanen 2014, s.8, Markovaara 2014.)

## 2.7 *Maaperään ja pohjatutkimusten tulkintaan liittyvät epävarmuudet*

### 2.7.1 *Pohjatutkimusmenetelmien ja tulkinnan epävarmuudet*

Maaperän ominaisuuksien arviointiin liittyy aina epävarmuutta maaperän epähomogeenisuuden, tulosten tulkinnan, ja tutkimusmenetelmän vuoksi.

Maaperän arviointiin liittyy tulkitsijasta johtuva inhimillinen epävarmuus. Maaperän kerrosrajojen ja maalajien määrittäminen on pohjatutkimusten tulkitsijan tekemä paras arvio maaperän todellisista olosuhteista. Kohteen maaperästä tehdään ensimmäinen arvio lähtötietojen kuten olemassa olevien kairausten, maaperäkarttojen, ilmakuvien ja maastokäynnin perusteella. Varsinaisista pohjatutkimuksista ensimmäisen tulkinnan tekee kairaaja. Geotekninen suunnittelija arvio kairaajan tekemiä tulkintoja kairausdiagrammin perusteella ja keskustelee kairaajan kanssa ja tekee oman arvionsa kohteen maaperästä. Tarvittaessa kairauksista saatavaa tietoa tarkennetaan ja varmistetaan näytteenotolla.

Yksittäisestä kairauksesta voidaan yleensä määrittää suhteellisen hyvin maakerrosten rajapinnat. Selkeissä pohjaolosuhteissa, esimerkiksi kohteissa, joissa on selkeä savi ja hiekka tai moreenikerros, kairaukset pitävät usein hyvin paikkansa. Rakennetuilla alu-



eilla, joissa on täyttöjä, epävarmuus on suurempi kuin luonnontilaisilla alueilla. Epävarmuus on suurempi myös kohteissa joissa maaperä on kerrallista ja vaihtelee paljon. (Uotinen 2014.)

Pohjatutkimusten perusteella saatavaan tietoon maaperästä vaikuttaa myös pohjatutkimuksen tyyppi. Pohjatutkimuksia tulkittaessa on otettava huomioon millä tarkkuudella kyseisestä kairauksesta voidaan saada tietoa. Esimerkiksi porakonekairauksella saadaan varmaa tietoa kallionpinnan sijainnista, mutta kairauksen tarkkuus riittää erottamaan vain kohtalaisesti karkearakeisten maalajien ja moreenien kerrospaksuudet ja huonosti hienorakeisten maalajien kerrokset toisistaan. Eri kairausten soveltuvuutta eri ominaisuuksien määrittämiseen on käsitelty luvussa 2.4 Pohjatutkimusten ohjelmointi.

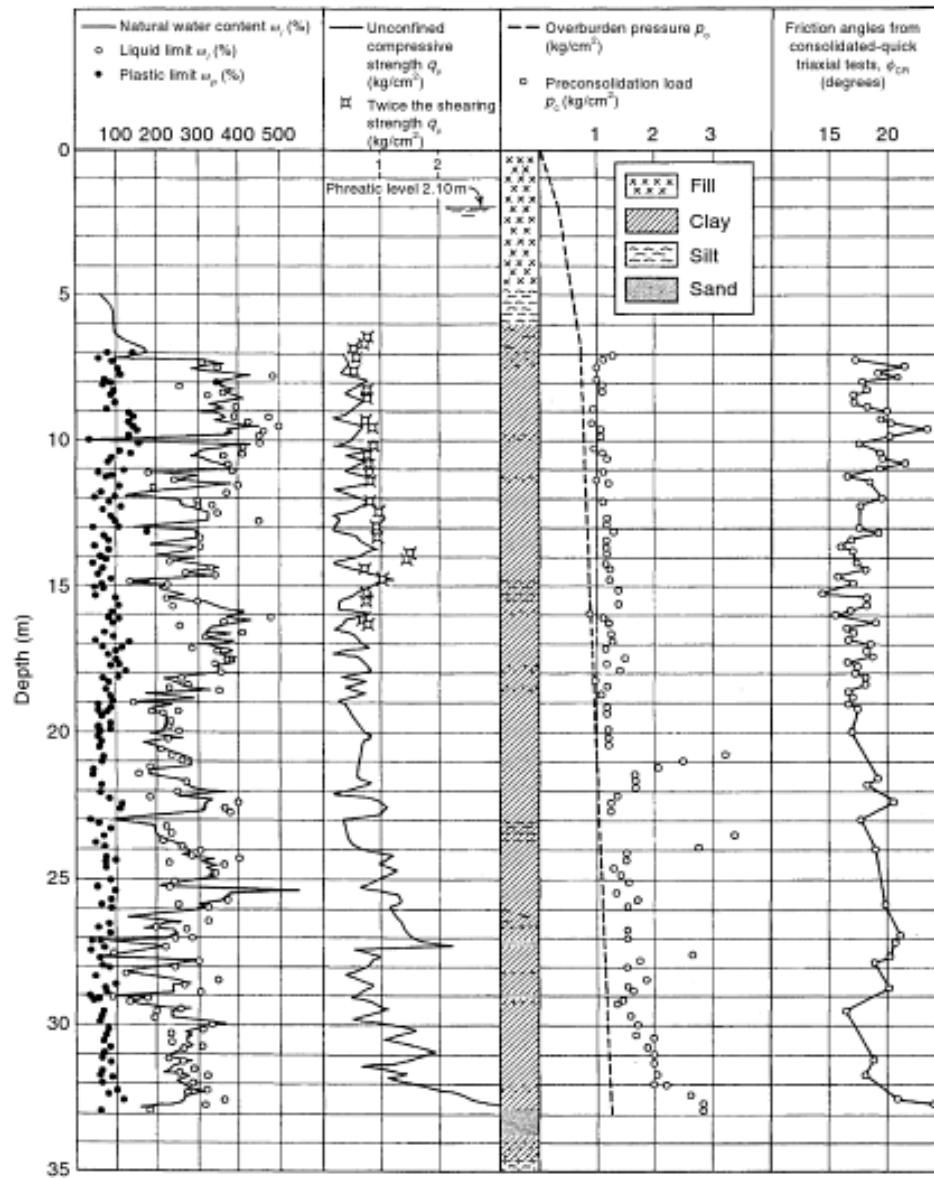
## 2.7.2 Maaperän epähomogeenisuus

Maaperän ominaisuuksista ei voida koskaan tehdä täydellistä mallia, joka kuvaa kohteen jokaista kohtaa, sillä tällöin olisi testattava koko tutkittavan kohteen maaperän jokainen kohta. (Jaksa ym. 2005, s.48.) Geotekninen suunnittelija voi kuitenkin tehdä mallin kohteesta pohjatutkimusten perusteella. On huomioitava, että maaperämalli perustuu topografian ja pohjatutkimusten perusteella saatua, lähes aina pistekohtaiseen, tietoon maalajien kerrosrajoista. Pisteiden välissä oleva maalajin rajapinta on suunnittelijan esittämä arvio maalajin todellisesta rajapinnasta.

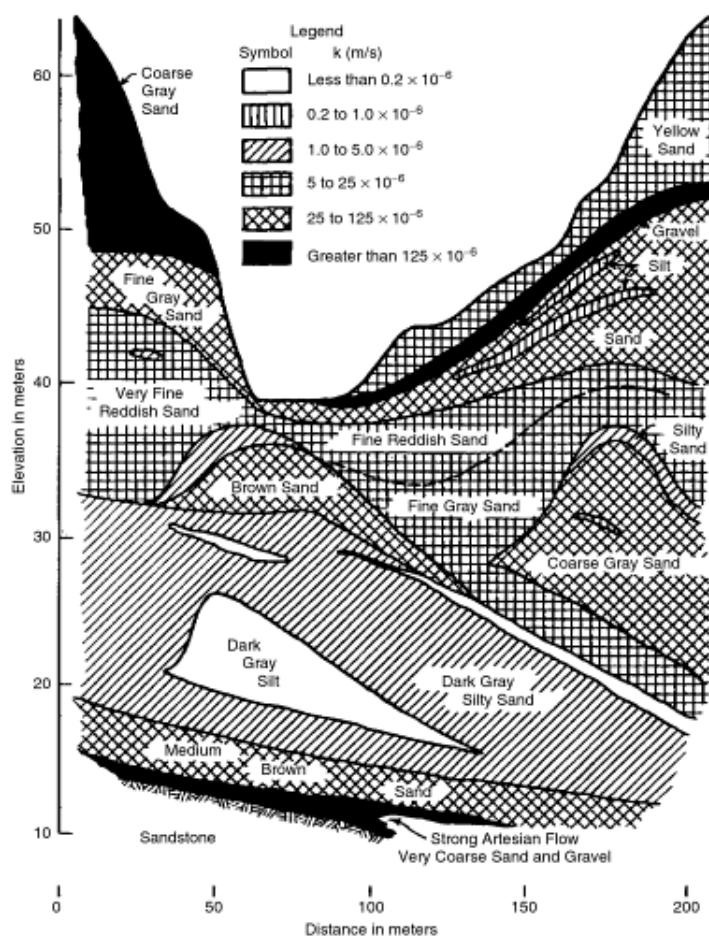
Epävarmuutta maaperän ominaisuuksien määrittämiseen tuo maaperän epähomogeenisuus. Maaperä on epähomogeenista ja maamassan ominaisuudet riippuvat maalajista, paikasta ja maakerroksesta. Maaperän ominaisuudet vaihtelevat jopa homogeeniselta vaikuttuvan maakerroksen sisällä. Kuvassa 10 on esimerkki, joka kuvaa maaperän epähomogeenisuutta homogeeniselta vaikuttavan kerroksen sisällä. Kuvassa on Mexico Citylle tyypillinen maaperän kerrosrakenne ja materiaaliominaisuuksien vaihtelun kuvaajat esitettynä syvyyden funktiona. Kuvassa 11 on esimerkki epäsäännöllisesti vaihtelevasta muodostumasta. Kuvan esimerkissä on esitetty vedenjohtavuuden vaihtelu maakerrosten ja linssien välillä, mikä kertoo myös maalajin rakeisuuden vaihtelusta. (Baecher ja Christian 2003, s.177.)

Koska maaperän vaihtelut riippuvat aina paikasta ja sen geologiasta, ei ole järkevää soveltaa tyypillisiä kohteen maaparametrien vaihtelun arvoja toisesta kohteesta toiseen, vaan arvojen tulisi aina perustua kohteesta kerättyyn tietoon. Kirjallisuudessa on esitetty arvoja maaparametrien vaihtelua kuvaaville parametreille, joissa on yhdistetty useiden lähteiden tietoja parametrien vaihtelusta. Yhdistetyn tiedon perusteella parametrien vaihtelut ovat hyvinkin suuria. (Baecher ja Christian 2003, s.178–180.)

Maaperän ominaisuuksien vaihtelun käsittelemiseen on kehitetty tilastollisia menetelmiä. Todennäköisyyksiin perustuvia menetelmiä on kehitetty erityisesti geoteknistä suunnittelua varten, eikä niitä käsitellä tässä työssä. Myös Eurokoodi mahdollistaa todennäköisyyksiin perustuvan suunnittelun.



Kuva 10 Mexico Citylle tyypillinen kerrosrakenne ja materiaaliominaisuuksien vaihtelu syvyyden funktiona. (Baecher ja Christian 2003, s.178.)



Kuva 11 Vedenjohtavuuden vaihtelu epä säännöllisesti vaihtelevassa muodostumassa. (Baecher ja Christian 2003, s.179.)

### 2.7.3 Pohjatutkimusten urakoitsijalle aiheuttamat epävarmuudet

Pohjatutkimukset ovat tärkeää lähtötietoa urakoitsijalle tarjousvaiheessa riskien hallinnassa, määrälaskennassa ja kustannusten arvioinnissa. Riskien hallinnan kannalta merkityksellisiä ovat pohjatutkimuksista saatavat tiedot kuten pohjavesisuhteet, kalliopinnan taso, paalupituudet, leikkausmateriaalin laatu ja kaivettavuus sekä olemassa olevat rakenteet. Liikennevirasto on laatinut raportin pohjatutkimusten hankinnan kehittämiseksi, jossa käsitellään mm. pohjatutkimuksien sisällön ja hankinnan kehitysehdotuksia. (Liikennevirasto 2012a, s.16.)

Pohjatutkimusten määrä ja laatu vaikuttavat urakan kustannusarvioon. Paikkansa pitävä kustannusarvio voidaan tehdä kattavan ja laadukkaan suunnitelma-aineiston perusteella. Jos suunnitelmat on tehty laadukkaan pohjatutkimusaineiston sijaan arvauksen pohjalta, suunnitelmien kustannuksiin sisältyy suuri riski. Työn aikana mahdollisesti selviävät puutteellisista suunnitelmista ja pohjatutkimuksista johtuvat yllättävät kustannukset ovat suuri riski kaikille osapuolille, sillä kustannuksista joudutaan usein kiistelemään. Puutteellisista pohjatutkimuksista johtuva riski lisää rakennuttajan kustannuksia, sillä urakoitsija sisällyttää riskin tarjoushintaan riskipreemiona. (Liikennevirasto 2012a, s.15–16.)

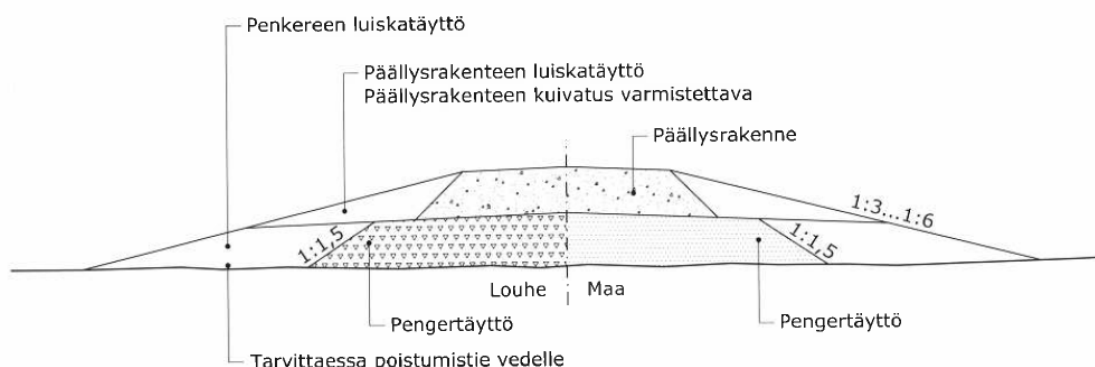
### 3 Maarakentaminen ja massatalous

#### 3.1 Maiden käyttökohteet ohjeiden ja vaatimusten mukaisesti

Maa- ja kalliomassojen tehokkaan hyötykäytön mahdollistamiseksi on tärkeää tietää millaisissa kohteissa erilaisia maa- ja kalliomassoja voidaan käyttää. Tässä luvussa käsitellään maamassojen kelpoisuuksia eri käyttökohteisiin. Käyttökelpoisuutta arvioitaessa on muistettava, että käyttömahdollisuudet perustuvat kohteen massatarpeisiin.

##### 3.1.1 Tiepenkereet

Tiepenkereen eri osiin voidaan hyödyntää käyttökelpoisuuksiltaan erilaisia maamassoja. Kuvassa 12 on esitetty penkereen osat. Tiukimmat laatuvaatimukset ovat päällysrakenteen materiaaleilla. Päällysrakenteen kerroksissa käytetään yleensä kalliomursketta, jonka vaatimuksia ei ole käsitelty tässä työssä tarkemmin. Tässä esitetyt laatuvaatimukset perustuvat InfraRYL 2010 vaatimuksiin ja ohjeistuksiin.



Kuva 12 Tiepenkereen osat. (InfraRYL 2010, s.250)

Tiepenkereen pengertäytön materiaaliksi kelpaa hiekka tai sitä karkeampirakeinen tiivistettävissä oleva kivennäismaalaji. Materiaali ei saa sisältää kiviä tai lohkarkeitä, jotka ovat läpimitaltaan suurempia kuin 2/3 kerrallaan tiivistettävän kerroksen paksuudesta. (InfraRYL 2010, s.244.)

Infra RYL ohjeistuksissa eri maa-ainesten kelpoisuus tien pohjamaahan tai alusrakenteeseen on esitetty jakamalla maa-ainekset kelpoisuusluokkiin S1–S4, H1–H4 ja U1–U4. Liitteessä 3 on esitetty tien pohjamaan tai alusrakenteen kelpoisuusluokat. Kelpoisuusluokkien S1 ja H1 maiden tiivistämisessä ei yleensä ole vaikeuksia. Näissä kelpoisuusluokissa hienoainespitoisuus on alle 7 % ja maat ovat routimattomia hiekkvoja ja soria. Nämä maalajit soveltuvat materiaaleiksi myös ns. pohjaan täyttöihin ja vesistö ja suopenkereisiin sekä mahdollisesti jakavaan kerrokseen tai suodatinkerrokseen. (InfraRYL 2010, s.244.)

Kelpoisuusluokkien S2 ja H2 maiden tiivistäminen on epäsuotuisissa olosuhteissa vaikeampaa kuin S1 ja H1 maiden tiivistäminen. Nämä maat ovat lievästi routivia hiekkvoja, soria ja moreeneita ja niiden hienoainespitoisuus on 7–15 %. Maita voidaan käyttää penkereisiin, mahdollisesti stabiloituihin rakennekerrokseen, vesistö ja suopenkereisiin ja suodatinkerrokseen. (InfraRYL 2010, s.244.)

Kelpoisuusluokkien S3 ja H3 maiden tiivistäminen on luokkien S1 ja H1 maita vaikeampaa. Nämä maat ovat routivia moreeneita tai hiekkvaa, ja niiden hienoainespitoisuus on 16–30 %. S3 ja H3 maat soveltuvat kuivana käytettäväksi penkereeseen. (InfraRYL 2010, s.244.)

Kelpoisuusluokkien S4 ja H4 maiden tiivistäminen vaikeutuu jo pienestä 2 % -yksikön optimivesipitoisuuden ylittymisestä. Maan ollessa lähellä juoksurajaa ei sitä usein voida käyttää sellaisenaan penkereeseen. Maan käsiteltävyyttä voidaan parantaa esimerkiksi kalkilla. S4 ja H4 luokkien maat ovat routivia moreeneita tai silttistä hiekkaa, ja niiden hienoainespitoisuus on 31–50 %. (InfraRYL 2010, s.244.)

Luokkien U1–U4 maita ei yleensä voi käyttää pengermateriaalina, muuten kuin erittäin kuivissa olosuhteissa suunnitelma asiakirjojen mukaisesti. Mahdollisia käyttökohteita ovat vastapenkereet ja voileipäarakenteet. Voileipäarakenteilla tarkoitetaan rakenteita, joissa hienoainespitoisten siltti tai savi kerrosten väliin rakennetaan karkearakeisempia maakerroksia, joiden kautta vesi pääsee poistumaan rakenteesta. U kelpoisuusluokkien maat ovat routivia tai erittäin routivia silttejä, savia sekä silttimoreeneita. Niiden hienoainespitoisuus on yli 50 %. (InfraRYL 2010, s.244.)

### **3.1.2 Luiskat, vastapenkereet, meluvallit ja maaston muotoilut**

Savia, silttejä ja hienorakeisia moreeneja ei yleensä käytetä penkereissä, mutta niille mahdollisia käyttökohteita ovat luiskatäytöt, vastapenkereet ja maastonmuotoilut. (Liikennevirasto 2010b, s.45)

Tielaitoksen ohjeen Penger ja kerrosrakenteet (1994) mukaan luiskan materiaalina voidaan käyttää sekalaista täytettä, jolla tarkoitetaan soraa, hiekkaa ja moreeneita. Täyte saa sisältää vähäisen määrän kasvijätettä, enintään 20 % turvetta sekä silttejä ja savia, jotka pysyvät luiskan kaltevuudessa. (Tielaitos 1994, s.13–16.) Luiskissa voidaan käyttää tien pengermateriaalia heikommin vettä läpäisevää materiaalia, jos luiskiin tehdään tällöin vettä läpäiseviä vedenpurkautumiskohtia. (Infra RYL 2010, s.247.)

Vastapengertä käytetään tie- tai muun rakenteen stabiliteetin parantamiseen, kun rakenne sijaitsee huonosti kantavalla pohjamaa-alueella. Vastapenkereen materiaalina voidaan käyttää Infra RYL 2010 ohjeistuksen mukaan kivennäismaa-aineksia, joita voidaan muotoilla suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti. Väylän kohdalla tai, jos painumisesta on haittaa materiaalin on täytettävä pengermateriaalin vaatimukset. Turvetta, multaa tai muuta pintamaata ei saa käyttää vastapenkereen rakenteeseen, sillä nämä materiaalit ovat liian kevyitä. (InfraRYL 2010, s.265.) Näitä materiaaleja voidaan kuitenkin käyttää ihan rakenteen pinnassa, jolloin sitä ei välttämättä suunnittelussa lasketa mukaan penkereen korkeuteen.

Meluvallin rakenteissa voidaan käyttää märkiä ja kuivia savisia maita ja moreeneita sekä routimattomia moreeneita ja soria. Maiden käyttömahdollisuus riippuu meluvallin luiskakaltevuudesta. (Liikennevirasto 2010a, s.18.) Meluvallit on suunniteltava kuten maanvaraiset penkereet ja meluvallin on pysyttävä koko käyttöikänsä suunnitellussa korkeustasossa. (Liikennevirasto 2012b, s.40.)

### **3.1.3 Esikuormitus ja massanvaihdon täyttö**

Esikuormituksen materiaaleina voidaan käyttää karkearakeisia maalajeja tai louhetta. Yleensä esikuormituspenger rakennetaan materiaalista, jota voidaan käyttää ylikuormituspenkereen poistamisen jälkeen. (InfraRYL 2010, s.282.)

Massavaihto on perustamistapa, jossa kokoonpuristuva tai huonosti kantava pohjamaa poistetaan ja korvataan osittain tai kokonaan kantavammalla materiaalilla. Kaivamalla tehtävän massanvaihdon täyttömateriaalina voidaan käyttää hiekkaa, hiekkamoreenia tai näitä karkeampia maalajeja tai louhetta. Materiaali saa mielellään olla kivistä. Täyttömateriaalin on kuitenkin tarvittaessa sovellettava paalujen lyömiseen täytön lävitse. Täyttöön saa käyttää sekaisin maata ja louhetta vain suunnitellusti kerroksittain rakennettuna. (InfraRYL 2010 s.282.)

### 3.1.4 Siltojen täytöt

Siltoihin liittyviä laatuvaatimuksiltaan erilaisia täyttöjä ovat mm. maanvaraisen perustuksen alapuolelle tehtävä täyttö, paalutetun perustuksen peruslaatan alle tehtävä täyttö, perustuksen peruskaivannon ympärystätäyttö ja sillan taustan täyttö ajoradan tai telineperustusten kohdalla ja muu sillan peruskuopan tai taustan täyttö. (InfraRYL 2006, s.93.)

Maanvaraisten perustusten alla, ja sillan taustan- ja peruskuopan täytössä käytetään täyttömateriaalina suhteistunutta jakavan kerroksen vaatimukset täyttävää soraa, mursketta tai rapautumatonta maksimiraekooltaan 300 mm louhetta, joka ei sisällä epäpuhtauksia. (InfraRYL 2006, s.93.) Paalutettavan perustuksen alla raekoko on enintään 100 mm, jos paalut lyödään täytteen läpi. Jos täyttö ei sijaitse ajoradan alla, tai maanvaraisen telineperustuksen kohdalla täyttömateriaali voi olla muuta routimatonta kiviainesta. Betonipintoja vasten pitää olla aina 500 mm kerros maksimiraekooltaan 63 mm mursketta tai soraa. (InfraRYL 2006, s.94.)

### 3.1.5 Asennusalustat, alkutäytöt, lopputäytöt

Putkijohtokaivantojen asennusalustoilla, alkutäytöllä ja lopputäytöllä on omat materiaallivaatimuksensa. Asennusalustan materiaalin on täytettävä, kaikkien saman asennusalustan päälle asennettavien putkien vaatimukset. Mahdollisia asennusalustan materiaaleja ovat hiekka, sora, murske, kaapelisuojatäytön materiaali ja vaatimukset täyttävä kaivumaa. Alustalle on myös raekokovaatimuksia. (InfraRYL 2010, s.270–271.)

Putkijohtokaivannon alkutäyttömateriaalin on täytettävä kaikkien saman kaivannon putkien alkutäyttömateriaalin vaatimukset. Mahdollisia alkutäyttömateriaaleja ovat hiekka, sora tai murske. Liikennöitävällä alueella alkutäyttömateriaali on routimatonta. Liikennöitävän alueen ulkopuolella alkutäyttömateriaalina voidaan käyttää myös savea, silttiä ja moreenia, joiden raekoko ei ylitä tasauskerroksen vaatimuksia. Tierakenteissa rummun alkutäytön materiaali voi olla myös rakennetyypistä riippuen pohjamaata. Imeytyssalaojan ympärystätäytössä käytetään rakeisuudeltaan 8/32 mursketta 200 mm salaojaputken ympärillä. (InfraRYL 2010, s.272–277.)

Lopputäyttömateriaalina käytetään tiivistämiskelpoista materiaalia, joka vastaa routivuusominaisuuksiltaan kaivannosta poistettua materiaalia. Liikennöitävän alueen ulkopuolella lopputäyttömateriaalina käytetään yleensä kaivumaita. Liikennöitävällä alueella lopputäyttömateriaali on kohteesta riippuen pengermateriaalia, siirtymäkiilamateriaalia tai ympäröivien rakennekerrosten materiaalia. (Infra RYL 2010, s.279.)

## 3.2 Massatalouden hallinta

### 3.2.1 Suunnitteluvaiheen massatalouden hallinta

Suuri osa hankkeen kustannuksista määräytyy väylähankkeen esi- ja yleissuunnitelmavaiheessa, jolloin tehdään merkittävät päätökset tien likimääräisestä sijainnista, liittymistä muihin teihin ja tilan tarpeesta. Tiesuunnitelmavaiheessa määritetään tien tarkka sijainti ja tietä varten tarvittavat alueet. (Liikennevirasto 2010c, s.10–11.) Tien rakennussuunnittelussa suunnittelu painottuu rakenteiden mitoittamiseen ja tasauksen viimeistelyyn. (Lindholm ja Junnonen 2012, s.17).

Massatalouden kannalta tien suunnitteluvaiheiden tavoitteena on laatia hankeohjelman mukaisia suunnitelmaratkaisuja, joiden avulla saavutetaan massojen kuljetus ja käsittelykustannusten kannalta taloudellinen ratkaisu. Tavoitteena on että leikattavat massamäärät ovat mahdollisimman vähäisiä, leikattavan massan laatu on mahdollisimman hyvää, massoja voidaan hyödyntää mahdollisimman paljon hankkeen sisällä ja turhia siirtoja voidaan välttää. Suunnitelmissa on otettava huomioon, että käytettävät massat riittävät hankkeen tarpeisiin. Rakenteita joihin massoja tarvitaan, ovat teiden penkereet ja rakenteet, melusuojuukset, ja muut massoja kuluttavat rakenteet kuten massanvaihdot. (Mäkinen 2007, s.3.)

Massatalouteen merkittävästi vaikuttavia suunnitelmaratkaisuja ovat tien linjauksen ja tasauksen suunnittelu. Tasaus pyritään suunnittelemaan niin, että leikattavat ja pengerrerrettävät massat ovat tasapainossa. (Mäkinen 2007, s.3.) Suunnittelun yhteydessä massatasapainoon voidaan lisäksi vaikuttaa seuraavilla suunnitteluratkaisuilla (Lindholm ja Junnonen 2012, s.17):

- Penkereen perustamistavat kuten, paalutus, syvästabilointi, pystyjoitus ja massanvaihto
- Erilaiset pengermateriaalit ja kevennysrakenteet
- Poikkileikkaussuunnittelun luiskakaltevuudet ja vastapenkereet
- Materiaalin parantaminen kuten saven kuivatus, välppäys, massastabilointi ja pelletointi
- Pohjaveden laskeminen tai nostaminen
- Paikallisten ja muualta tuotujen materiaalien käyttö
- Vaihtoehtoisten materiaalien kuten, betonimurskeen, lentotuhkan, rengasrouheen ja teollisuuden sivutuotteiden käyttö
- Läjitettyjen materiaalien käyttäminen meluvalleissa ja maisemoinnissa

Infrahankkeen suunnitteluun vaikuttavat yleensä määräävästi maankäyttö, ympäristönäkökohdat ja kaavoitus. Tällöin suunnittelussa ei voida aina edetä massatalouden kannalta edullisimmalla tavalla. Massatalous voidaan huomioida suunnittelussa koskemattomassa maastossa kulkevilla tieosuuksilla monipuolisemmin, kuin kaupunkiympäristössä (Häkkinen 2014, Perttula 2014, Uotinen 2014). Kaupunkiympäristössä ei usein voida vaikuttaa tien tasaukseen, mutta massatalouteen voidaan vaikuttaa meluvallien suunnittelulla, pohjanvahvistusmenetelmien suunnittelulla ja hyödyntämällä massoja eri hankkeiden välillä. Toisinaan massatalouden tasapainon kanssa kilpailevana suunnitteluperusteena on pohjanvahvistusten minimointi (Uotinen 2014).

Suunnittelussa on huomioitava mahdollisesti tarvittavat ylijäämämassojen läjitysalueet ja varamaanottopaikat. Ylijäämämassojen läjitys hankkeen ulkopuolelle on erityisesti pääkaupunkiseudulla kallista. Taulukossa 11 on esitetty 2014 syksyn tilanne Espoon ja Vantaan maanvastaanottoaikkien maksuista. Vantaan kaupunki vastaanottaa Pitkäsuon täyttömäelle ainoastaan Vantaan alueelta tulevia ylijäämämaita. Espoon kaupungin ylläpitämälle Kulmakorven maanlajitysalueelle otetaan vastaan Espoon, Kauniaisten ja Kirkkonummen alueen maa- ja kiviaineksia. Helsingillä ei ole tällä hetkellä omaa maanvastaanottoaikkaa. (Espoo 2014, Vantaa 2014, HSY 2014.)

**Taulukko 11 Maanvastaanottoaikkien maksut Espoossa ja Vantaalla (Espoo; Vantaa 2014)**

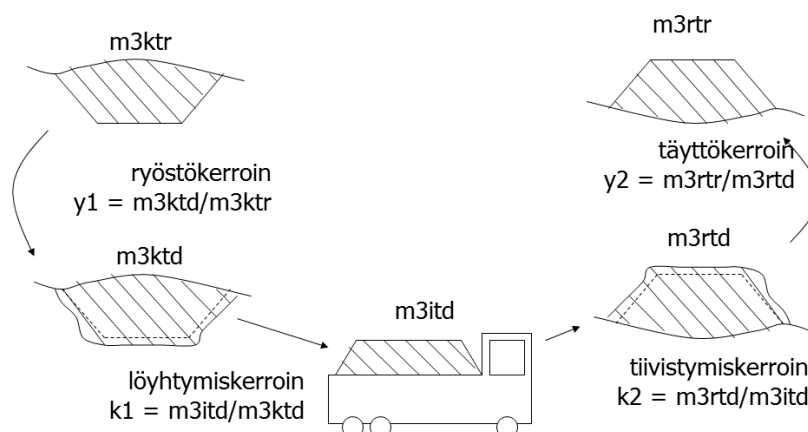
	<b>Espoo (alv 0%)</b>	<b>Espoo (alv 0%)</b>	<b>Vantaa (alv 0%)</b>	<b>Vantaa (alv 0%)</b>
<b>Maalaji</b>	<b>3-5 akselinen</b>	<b>Puoliperävaunu</b>	<b>4-akselinen</b>	<b>5-akselinen ja puoliperävaunu</b>
	€/kuorma	€/kuorma	€/kuorma	€/kuorma
Kantava maa	34,1	68,2	27,8	34,1
Savi	68,2	136,4	83,4	102,3
Liejusavi	136,4	272,8	83,4	102,3
Louhe	0	0	0	0

### 3.2.2 Massakertoimet

Suunniteltaessa massansiirtoja on tärkeää huomioida massojen tilavuuskäsitteet ja massakertoimet. Massakertoimien avulla voidaan laskea massojen määrät tuotannon eri vaiheissa. Massan siirtoja suunniteltaessa massamäärät muutetaan kiintoteoreettisista kuutioista ( $m^3_{\text{ctr}}$ ) rakenneteoreettisiksi kuutioiksi ( $m^3_{\text{rtr}}$ ). Massojen muuntokertoimet riippuvat leikattavasta materiaalista. (Lindholm ja Junnonen 2012, s.153.) Kuvassa 13 on esitetty massakertoimien periaatteet ja tilavuuskäsitteet. Liitteessä 4 on esitetty InfraRYL määramittausohjeiden mukaiset massakertoimet.

Maa on tyypillisesti luonnontilaisena tiivistä. Kun maa irrotetaan kaivamalla ja kuormataan maansiirtoauton lavalle, maa löyhtyy. Maan tilavuus on maansiirtoauton lavalla ryöstö- ja löyhtymiskertoimen verran suunnitelmista mitattua teoreettista arvoa suurempi. Siirrettäessä maa maansiirtoauton lavalta rakenteisiin maa jää luonnontilaista maata löyhemmäksi. Maa on tiivistettävä, jotta sitä voidaan käyttää rakenteissa. (Lindholm ja Junnonen 2012, s.154). Laskettaessa suunnitelmissa olevan teoreettisen rakenteen ja kuorma-auton lavalla olevan maan tilavuuden välistä eroa käytetään tiivistymiskerrointa ja täytökerrointa.





Kuva 13. Massakertoimien periaatteet ja tilavuuskäsitteet. (Dynaroad 2014)

### 3.2.3 Laskentavaiheen massatalouden hallinta

Ennen hankkeen rakentamisen aloittamista on suunniteltava tuotannon toteutus. Tuotannon suunnittelu on osa hankkeen laskentaa, sillä käytettävät työmenetelmät ja aikataulu määräävät hankkeen kustannukset. Massataloudensuunnittelu on olennainen osa hankkeen tuotannon suunnittelua ja laskentaa, sillä suunnittelulla voidaan vaikuttaa merkittävästi massansiirron kustannuksiin ja aikatauluun. (Moselhi ja Alshibani 2009, s.1.) Massatalouteen liittyvät kustannukset voivat muodostaa jopa 50 % tiehankkeen kustannuksista (Kenley ja Seppänen 2009, s.478).

Tuotantovaiheen massatalouden suunnittelu koostuu kolmesta vaiheesta (Mäkinen 2007 s.1.):

- Massansiirtosuunnitelman tekeminen
- Massansiirtosuunnitelman yhdistäminen aikatauluun
- Massataloutta parantavien toimenpiteiden suunnittelu

Massansiirtosuunnitelma laaditaan hankkeen kaikista massoista, jotka on jaoteltu kelpoisuuksien mukaan. Suunnittelijan tulisi ilmoittaa massojen määrät ja kelpoisuudet, joiden perusteella massansiirtosuunnitelma voidaan tehdä. Nykyään massansiirtosuunnitelma tehdään usein tietokoneohjelmalla, esimerkiksi Dynaroad- ohjelmistolla. Suunniteltaessa massansiirtoa on tärkeää huomioida massojen tilavuuskäsitteet ja muuntokertoimet.

Massansiirtoa suunniteltaessa hanke jaetaan tarvittaessa erillisiin massatalousalueisiin. Massatalousalue on itsenäinen alue, jonka massansiirtoja on helpompi hallita alueen pienen koon vuoksi. Massatalousalue määritetään siirtoesteiden rajaamana tai aikataulussa kerralla toteutettavana alueena. Tavoitteena on että massatalousalueen sisällä ei ole siirtoesteitä. Massatalousaluejaon etuna on, että massatalousalueen sisällä olevat poikkeamat tai aikatauluvirheet eivät vaikuta hankkeen muihin osiin, ellei ole kyse siirrosta alueiden välillä. (Mäkinen 2007, s.6.)

Hankkeissa olevia siirtoesteitä ovat tyypillisesti yleinen liikenne, vesistöylitykset ja tunnelit, siltatyömaa, vaikeakulkuinen maasto sekä ympäristöseikat. Esteiden mahdollisia vaikutuksia ovat ajomatkojen pidentyminen, kuljetusten siirtyminen yleisen liikenteen sekaan, siirtokustannusten nouseminen tai kuljetuksen estyminen kokonaan. Rakenne-

tussa ympäristössä näiden siirtoesteiden tunnistaminen ja kiertäminen on usein yksi massansiirron suunnittelun tärkeimmistä tehtävistä. (Mäkinen 2007, s.15.) Konkreettisten esteiden lisäksi massatalousaluetta saattavat rajata aikataululliset vaatimukset, kuten alue, joka on saatava liikenteelle valmiiksi ennen muita alueita.

Massansiirtosuunnitelma on tärkeää yhdistää hankkeen aikatauluun, jotta se olisi toteutuskelpoinen. Haasteena aikataulutetun massansiirtosuunnitelman tekemisessä ovat infrahankkeelle tyypilliset piirteet. Toisiinsa liittyviä töitä on tehtävä samaa aikaa kahdessa eri paikassa, jotta leikkauksesta saatava massa voidaan siirtää suoraan penkereeseen. Tällöin yhden työkohteen viivästyminen vaikuttaa useisiin kohteisiin työmaalla. Lisäksi leikkausmaiden järjestys maaperässä on usein rakentamisen kannalta päinvastainen. Ensimmäisenä poistettavaa maan pinnassa olevaa pintamaata voidaan käyttää vasta tienrakentamisen viimeisiin työvaiheisiin kuuluvissa luiskatyöissä. (Kenley ja Seppänen 2009, s.468.)

Massansiirron suunnittelussa pyritään pienentämään kustannuksia kiinnittämällä huomiota tuotannon aikaiseen massojen käyttöön ja käyttöjärjestykseen. Massansiirtosuunnittelun periaatteita ovat (Mäkinen 2007, s16.):

- Kaikkien käyttökelpoisten massojen käyttäminen oikein
- Kelvottomien massojen leikkaaminen mahdollisimman vähän
- Massojen välivarastoinnin välttäminen
- Penkereiden mahdollisimman vähäinen rakentaminen
- Vuodenaikojen vaikutuksen huomioiminen
- Muiden rakennuskohteiden hyödyntäminen massojen lähteenä ja kohteena
- Kuljetusmatkojen suunnittelu mahdollisimman lyhyiksi
- Meno-paluu kuljetusten suosiminen

Massan siirtoja suunniteltaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota riskikohteisiin. Suurimpia kustannusriskejä aiheuttavia kohteita ovat suuret täytöt ja leikkaukset, pitkät siirtomatkat, ja kohteet, joissa on massansiirtosuunnitelman valmistuttua yli- tai alijäämää. (Mäkinen 2007, s.16.)

Massansiirron suunnittelussa on tärkeää huomioida massojen väliaikainen käyttö esimerkiksi työmaateissä, jos määrät ovat huomattavia. Väliaikaisen käytön tavoitteena on että materiaalia voidaan hyödyntää useaan kertaan eri paikoissa ja vielä lopputuotteessakin. (Mäkinen 2007, s.45)

Mahdollisuudet vaikuttaa massatalouden suunnitteluun riippuvat rakennettavasta kohteesta. Neitseelliseen maastoon rakennettavalla uudella tielinjalla on usein monipuolisemmat mahdollisuudet vaikuttaa kohteen massatalouteen esimerkiksi tasauksen ja rakennuskohteiden muutoksilla, kuin vanhan kohteen parannushankkeessa. Vanhan tielinjan parantamiskohteelle tyypillistä on että ympäristö määrää huomattavasti kohteen suunnittelua ja rakentamista. Tällöin kiinnitetään erityisesti huomiota massansiirtojen ja liikennejärjestelyiden yhteensovittamiseen, mahdollisuuksiin rakentaa meluvalleja ja seiniä, vaihtoehtoihin stabiloinnin ja massanvaihdon välillä, materiaalien uusiokäytön suunnitteluun, sekä luiskien, ramppisilmukoiden ja muiden maastomuotoiluiden hyödyntämiseen massojen sijoituskohteena. (Dynaroad, 2014.)

Laskentavaiheen massatalouden suunnittelun tuloksena saadaan toteutusvaihetta varten massansiirtosuunnitelma, joka on sidottu riittävän tarkasti hankkeen aikatauluun. Suunnitelmaa hyödynnetään toteutusvaiheen massatalouden hallinnassa ja aikataulun seuramisessa. Massansiirtosuunnitelmaa päivitetään toteutusvaiheessa havaittujen toteumien ja uusien tarpeiden mukaan.

### 3.2.4 Toteutusvaiheen massatalouden hallinta

Toteutusvaiheen massatalouden hallinnan tavoitteena on toteuttaa hankkeen massatalouteen liittyvät tehtävät mahdollisimman pienin kustannuksin seuraamalla etukäteen laadittua aikatauluun sidottua massansiirtosuunnitelmaa.

Väylähankkeessa tuotannon ohjauksen osa on riittävän tarkasti aikataulutettu massansiirtosuunnitelma, jota seurataan tuotannon aikana. Tuotannon aikana seurataan toteutuneita määriä ja siirtoja, ja kerättyä tietoa verrataan massansiirtosuunnitelmaan. Toteumatiedon keräämisen tarkoituksena on tuottaa luotettavaa tietoa urakan etenemisestä, jotta toteumaa voidaan verrata suunniteltuihin kustannuksiin, määriin ja aikatauluun. Vertailun perusteella tehdään tarvittaessa ohjaustoimenpiteitä havaittujen poikkeamien negatiivisten vaikutusten pienentämiseksi. (Mäkinen 2007, s.17.)

Hankkeen toteumatietoa saadaan mittaryhmältä, kuormaseurannasta ja työmaalta toteamalla esimerkiksi mille paalulle asti leikkaus on tehty. Toteumatiedon keräämisessä ongelmana on yleensä, että tieto saadaan viiveellä ja siinä saattaa olla puutteita. Mittaryhmältä on saatavilla täsmällistä toteumatietoa, mutta tarkkaa tietoa koko työmaan tilanteesta yhdellä hetkellä ei voida saada hankkeen laajuuden vuoksi. Työmaalla tehtävistä leikkauksista voidaan usein arvioida leikkauksen toteuma toteamalla tilanne työmaalla. (Lahtinen 2014.) Näin ei kuitenkaan saada tarkkaa määrää, eikä tietoa siitä minne maat on siirretty leikkauksesta.

Toteumatiedon kerääminen perustuu usein maansiirtoautojen kuljettajien täyttämiin kuormakirjoihin. Kuljettajan tulisi merkitä kuormakirjoihin mistä minne kuormat on ajettu. Kuormakirjojen ongelmana on että niistä ei aina voi jälkikäteen tarkastaa minne kuormat on ajettu epäselvien, virheellisten tai puutteellisten merkintöjen vuoksi. Jotta kuormakirjoissa oleva seurantatieto on hyödynnettävissä, tulee tieto siirtää esimerkiksi sähköiseen tietokantaan (Mäkinen 2007, s.17).

Massansiirron toteumatiedosta voidaan laatia raportteja, joita voidaan hyödyntää hankkeen ohjaamiseen ja aikataulun seuraamiseen. Kuvissa 14–16 on esitetty Dynaroad ohjelmiston avulla luotuja massatalouden seurantaan liittyviä raportteja.

Kuvan 14 valmiusasteraportissa on esitetty taulukkomuodossa suunniteltu määrä, seurannan avulla kerätty toteutunut määrä ja jäljellä oleva määrä vähentämällä toteuma suunnitellusta. Raportista ilmi käyviä määräpoikkeamia voidaan hyödyntää tulevien töiden massatalouden suunnittelussa. (Mäkinen 2007, s.21.)

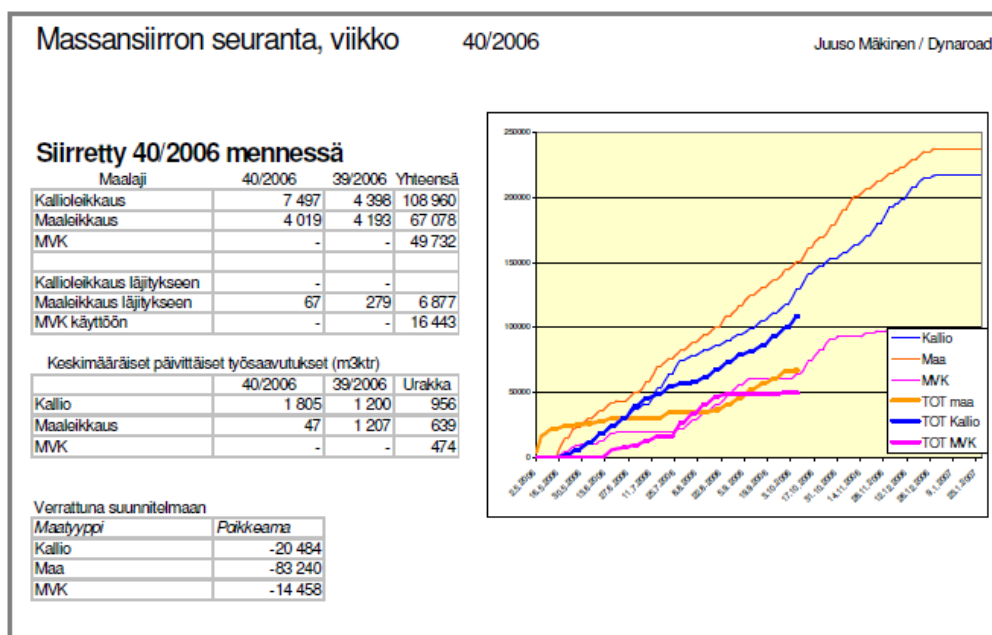
Kuvassa 15 on esitetty massansiirron seurantaraportti, jossa toteutuneita siirrettyjä määriä verrataan suunniteltuihin siirrettäviin määriin. Raportti on luotu aikataulutetun massansiirtosuunnitelman mukaan, jolloin raportista nähdään edetäanko aikataulua hitaammin vai nopeammin. (Mäkinen 2007, s.24.)

Kuvassa 16 on esitetty tieaikanäkymä, jossa on esitetty aikataulu ja toteumatieto. Toteumatiedosta nähdään myös työkohteen toteuman historia. (Mäkinen 2007, s.25.)

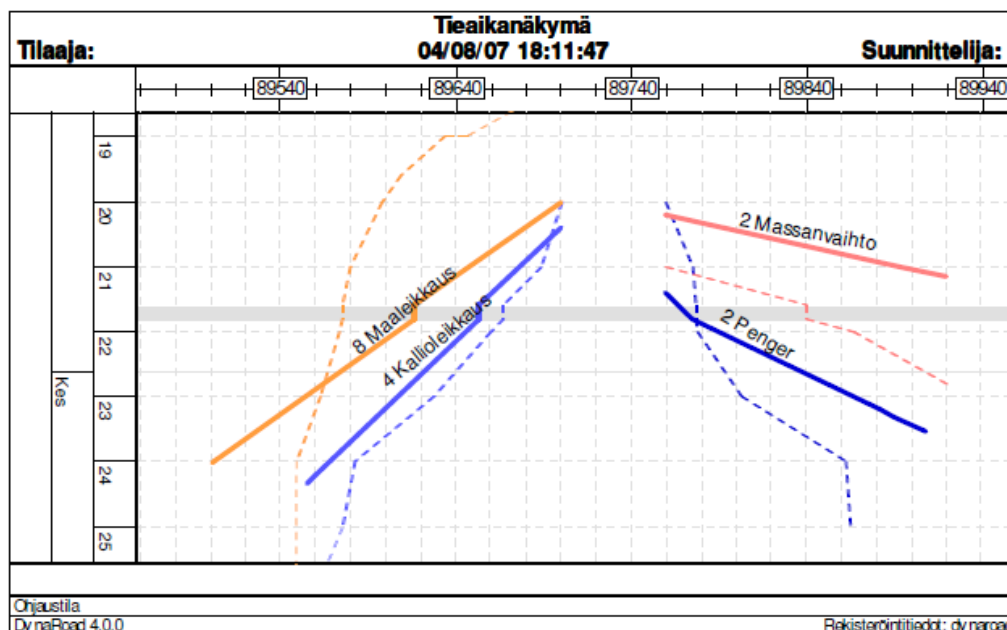
Dynaroad-ohjelmistolla voidaan seurata hankkeen toteumaa myös valvontavinjetissä ja massansiirtonäkymässä. Valvontavinjetistä nähdään työkohteen valmiusaste ja eteneminen suhteessa aikatauluun. Massansiirtonäkymästä nähdään mistä minne massat on siirretty ja mikä on työkohteiden valmiusaste. (Mäkinen 2007, s.22–23)

Valmiusasteraportti 12.4.2007									
	91200-93660			93660-96880			Yhteenveto		
	Suunn.	Tot.	Jäljellä	Suunn.	Tot.	Jäljellä	Suunn.	Tot.	Jäljellä
LM2 (m3ktr)	6 613		6 613	594		594	67 480	12 208	56 329
LM3 (m3ktr)	131 006	43 320	4 797	53 130	58 939	6 702	338 693	166 864	98 365
R-multa (m3ktr)							15 902		15 902
LK1 (m3ktr)							69 500	13 143	56 357
LK2 (m3ktr)	115 448	110 606	1 829				446 230	238 672	231 078
LK3 (m3ktr)	68 311	68 956	211	106 946	131 466	156	662 551	381 298	309 212
LK tun (m3ktr)							279 146	222 319	57 869
MVK (m3ktr)	81 094	69 140	12 564	87 960	85 648	8 239	403 174	320 395	89 685
	91200-93660			93660-96880			Yhteenveto		
	Suunn.	Tot.	Jäljellä	Suunn.	Tot.	Jäljellä	Suunn.	Tot.	Jäljellä
Jakava (m3rtr)							2 247		2 247
Kantava (m3rtr)							59 015		59 015
Kiilaus (m3rtr)							63 635		63 635
Läjitys (m3rtr)							1 099 000	424 737	755 843
murske (m3rtr)							26 000		26 000
MV-maa (m3rtr)	83 487	48 097					339 964	175 371	163 301
MVTK (m3rtr)	92 963	89 628	11 038	87 960	97 619	2 884	503 020	422 215	120 920
PK < 600 (m3rtr)	28 516	45 415	4 324	7 084	1 697	5 387	242 765	78 993	171 999
PK > 600 (m3rtr)	48 395	69 765	2 381	170 407	182 508	4 584	1 212 617	616 723	660 244
PML (m3rtr)							113 854	1 479	112 375
S-Murske (m3rtr)							25 404	1 792	23 612
Murskaus (t)								208 859	

Kuva 14 Valmiusasteraportti (Mäkinen 2007, s.21)



Kuva 15 Massansiirron seuranta (Mäkinen 2007, s.24)



Kuva 16 Tieaikakaavio (Mäkinen 2007, s.25)

Hankkeen ajallisen valvonnan tarkoituksena on tunnistaa kohteet, joissa tapahtuu muutoksia, jotka vaikuttavat asetettujen tavoitteiden saavuttamiseen negatiivisesti. Tavoitteena on estää kustannuksia lisäävien poikkeamien syntyminen. Yhden tehtävän viivästymisen vaikuttaa usein muiden tehtävien ajoitukseen. Lisäksi myöhästymisen kiinniotaminen lisää usein kustannuksia. Jos epäillään, että aikataulussa ei pysytä ja viivästyminen vaikuttaa myös muihin työkohteisiin, reagoidaan poikkeamiin ohjaustoimenpiteillä. Tarkoituksena on valita edullisin vaihtoehto, jolla työ voidaan toteuttaa alkuperäisen aikataulun mukaan. (Mäkinen. 2007, s.26–30.)

Hankkeen massansiirtosuunnitelma päivittyy jatkuvasti hankkeen edetessä. Massansiirtosuunnitelmaan päivitetään rakennussuunnitelmiin tulleet muutokset. Lisäksi suunnitelmaa päivitetään toteutuneista todellisista määristä ja laaduista ja kerätyn tiedon avulla. (Mäkinen 2007, s.52.)

Massatalouden seurannan yhteydessä pyritään jatkuvasti ratkaisemaan mahdollisia ongelmia ylijäämämaiden läjityksen tai alijäämämaiden hankinnan suhteen. Ylijäämämaita voidaan mahdollisesti hyödyntää muissa kohteissa tai niitä voidaan käyttää kohteen sisällä maisemahoidollisissa täytöissä. Alijäämämaiden osalta voidaan pohtia ryöstömahdollisuutta ja etsiä urakan ulkopuolisia lähteitä. (Mäkinen 2007, s.17.)

## 4 Koerakennuskohde

### 4.1 Koerakennuskohteen kuvaus

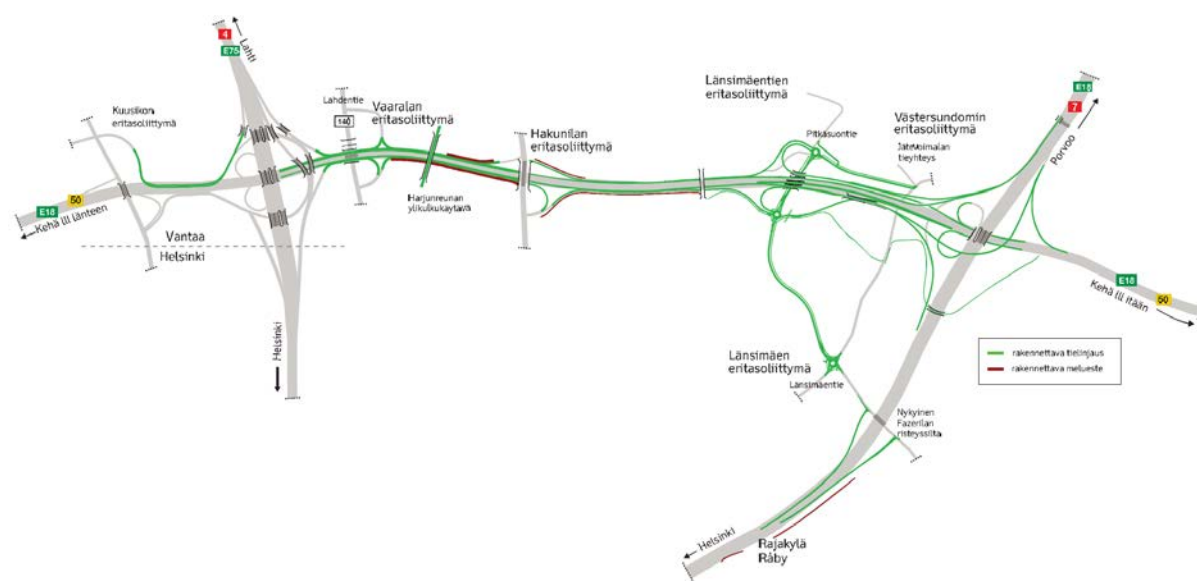
#### 4.1.1 Kehä III VT4–VT7

Tutkimuskohteena on YIT Rakennus Oy:n urakoima rakennushanke Kantatien 50 (Kehä III) parantaminen välillä Lahdenväylä (Vt4)–Porvoonväylä (Vt7).

Urakassa Kehä III:lle rakennetaan kolmannet kaistat Lahdenväylän ja Porvoonväylän välille molemmille ajosuunnille. Lisäksi Kehä III:lle rakennetaan uusi Länsimäentien eritasoliittymä (E52), joka korvaa nykyisen Fazerintien tasoliittymän, ja josta on yhteys Långmossabergenin jätevoimalalle. Länsimäentien eritasoliittymään liittyy uuden tieosuuden, Länsimäentien jatkeen (Y1) rakentaminen Länsimäentien eritasoliittymän ja Fazerintien välillä. Porvoonväylän eritasoliittymään (E53) rakennetaan uudet rampit E18 tien suunan liikenteelle Porvoon suuntaan ja Kehä III:lle länteen. Lisäksi rakennetaan silmukkaramppi Porvoon suunnasta Vuosaaren suuntaan Kehä III:lle. Porvoonväylälle rakennetaan uudet suuntaisrampit E1R1 ja E1R2 nykyiseltä länsimäentieltä Helsingin suuntaan. (Liikennevirasto 2013.)

Hankkeeseen kuuluu lisäksi Hakunilan ja Vaaralan alueen meluntorjunnan parantaminen rakentamalla uusia meluvalleja ja -aitoja, sekä meluvallien rakentaminen Porvoonväylän eteläpuolelle Rajakylän kohdalle. Kuvassa 17 on esitetty hankkeessa rakennettavat tielinjaukset vihreällä ja melusuojukset ruskealla.

Tässä työssä käsitellään tarkemmin kolmea rakennettavaa ramppia ja yhtä yksityistietä. Rakennettavat rampit ovat Länsimäentien uuteen eritasoliittymään liittyvä ramppi E52R1, ja Nykyiseltä Fazerilan risteyssillalta rakennettavat Länsimäen eritasoliittymän rampit E1R1 ja E1R2. Rakennettava yksityistie Y1 on olemassa olevan länsimäentien jatke.



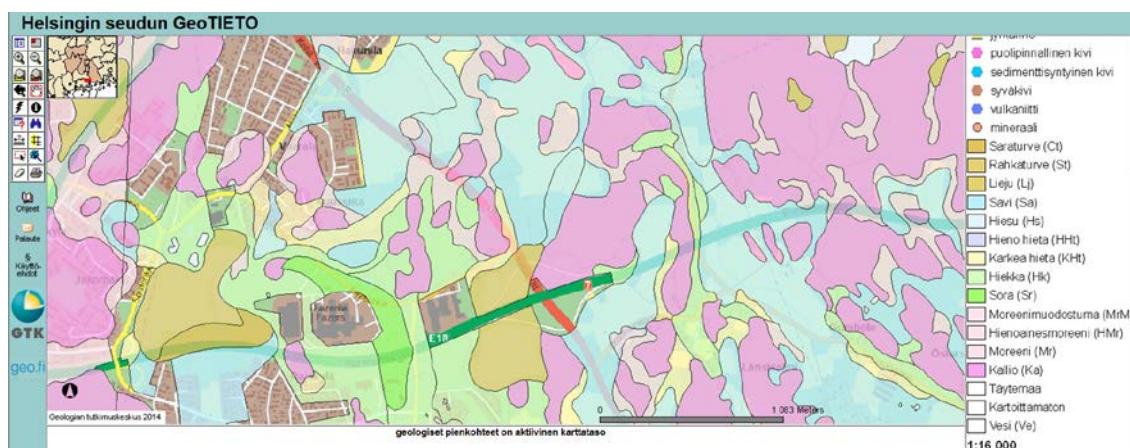
Kuva 17. Kehä III, Lahdenväylä–Porvoonväylä urakan rakennettavat tielinjaukset vihreällä ja melusuojukset ruskealla. (Liikennevirasto 2013)

#### 4.1.2 Kohteen maaperä yleispiirteisesti

Hankkeen rakennusalueella on monipuolisesti erilaisia maaperäolosuhteita. Geologian tutkimuskeskuksen (GTK:n) Helsingin GeoTIETO palvelun aineiston perusteella voidaan muodostaa yleiskuva alueen maaperän olosuhteista. Rakennusalueelta on tavattavissa kaikkiin eri maalajiryhmiin kuuluvia maalajeja. Kuvassa 18 on esitetty hankealueen maaperätiedot GTK:n Helsingin GeoTIETO palvelusta tulostetussa kuvassa.

GeoTIETO palvelun aineiston perusteella hienorakeisista maalajeista savea esiintyy Kehä III varrella laajalti Hakunilan eritasoliittymältä itään päin. Hieman ennen uutta Länsimäentien eritasoliittymää tämä savialue loppuu moreeni ja kallioalueeseen. Uuden eritasoliittymän kohdalla on kuitenkin paikallinen savialue. Länsimäentien eritasoliittymältä Porvoonväylän liittymää kohti mentäessä Kehä III kohdalla on ensin kallioalue, jonka jälkeen on ohut karkean hiedan eli hienon hiekan kaista. Porvoonväylän eritasoliittymän kohdalla on laaja eloperäisten maalajien turvealue. Turvealue sijaitsee pääosin Kehä III:n eteläpuolella Porvoonväylän kummallakin puolella.

Porvoonväylälle Helsingin suuntaan rakennettavien suuntaisramppien kohdalla maaperä on GeoTIETO aineiston perusteella karkearakeisia maalajeja hiekkaa ja soraa. Fazerintien ja Länsimäentien eritasoliittymän väliin rakennettavan uuden tieyhteyden Länsimäentien jatkeen (Y1) alueella vaihtelevat kallioalueet, moreenimaalajit ja karkearakeisten maalajien hiekka-alueet.



Kuva 18. Kohteen maaperä (Helsingin GeoTIETO palvelu 1.7.2014)

#### 4.1.3 Länsimäentien jatke Y1

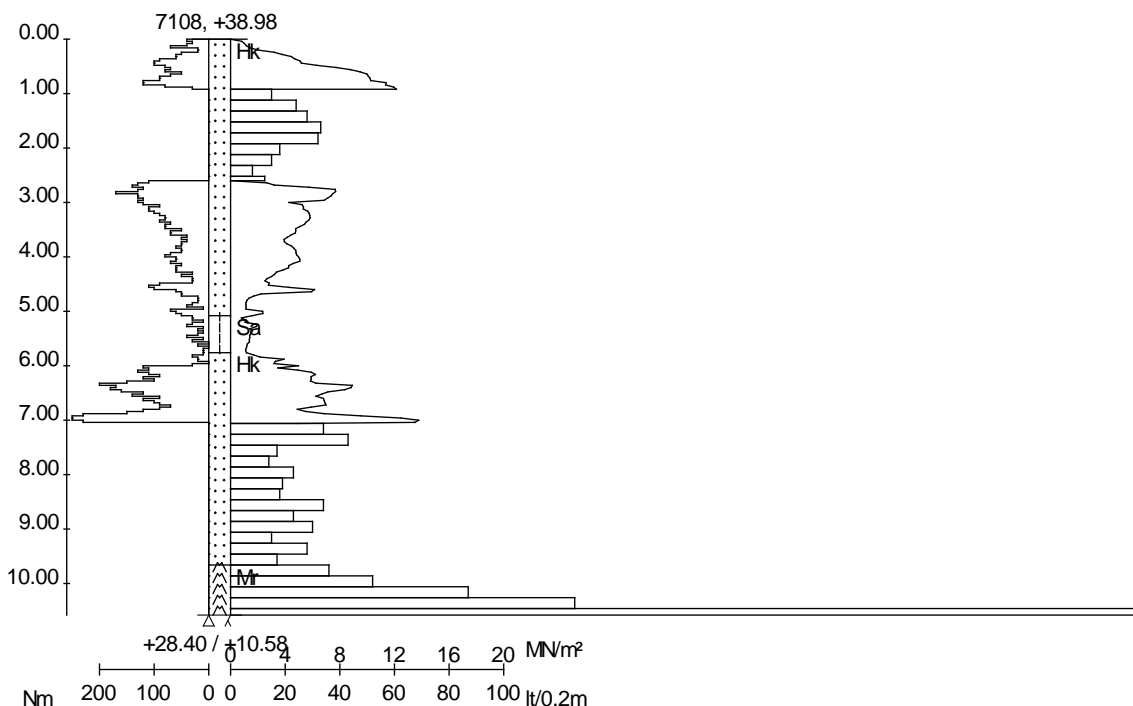
Y1 on Fazerintien ja Länsimäentien risteyksestä eritasoliittymälle E52 rakennettava uusi tieyhteys, Länsimäentien jatke. Kuvassa 20 on esitetty Länsimäentien linjaus kartalla punaisella merkittynä. Tässä työssä tarkastellaan Länsimäentien paaluväliä 860–1240. Ennen tarkasteltavaa paaluväliä tielinjan leikkaus on pääosin enimmillään 10 m syvässä kalliossa. Maaperä paaluvälillä 440–750 on hiekkaa ja moreenia. Paalulta 750 paalulle 1120 Länsimäentie kulkee maa ja kallioleikkauksessa. Osuuden keskivaiheella tie kulkee syvässä maaleikkauksessa. Maaperä on työselostuksen mukaan pääosin hiekkaa, näytetietojen perusteella soraista hiekkaa ja hienoa hiekkaa. Paaluvälille 1110–1170 rakennetaan kiertoliittymä, joka on kallioleikkauksessa. (A-insinöörit 2013, s. 23–24.)

Paaluvälillä 1120–1460 länsimäentie kulkee kallio- ja maaleikkauksessa. Maaperä on tällä välillä maaperätietojen perusteella hiekkaa ja moreenia. Paalulta 1260 paalulle 1340 Länsimäentie kulkee leikkauksessa alittaen Kehä III:n. Maaperä on tällä välillä pääosin

savea ja paikoin sen alla on ohut kerros silttiä. Kehä III:n kummallekin puolelle savipehmeikön kohdalle tehdään massanvaihto. Tien loppuosuudella paaluvälillä 1340–1460 maaperä on savipehmeikköä sekä hiekkaa, moreenia ja silttiä. (A-insinöörit 2013a, s.24, A-insinöörit 2013b, s.3.)

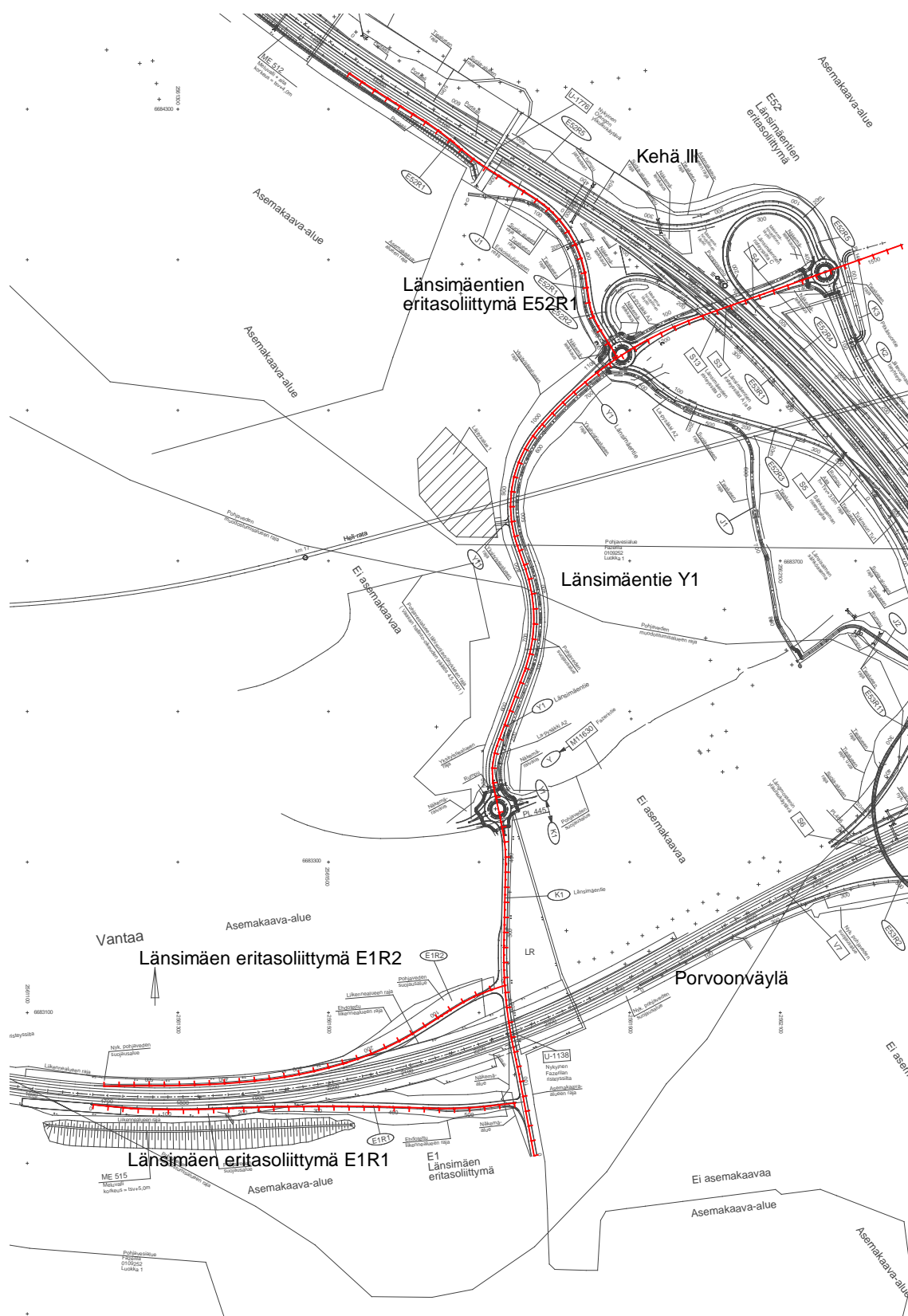
Länsimäentien alussa paaluvälillä 460–560 on tehty puristin-heijarikairauksia ja porakonekairauksia. Paaluvälillä 560–660 olevalle kallioiselle osuudelle ei ole tehty kairauksia. Paalulta 660 lähtien on tehty porakonekairauksia tasaisesti 20–40 m välein. Porakonekairaukset jatkuvat paalulle 1440 olevalle liikenneympyrälle asti. Porakonekairauksia on tehty pääosin 1–2 kappaletta per poikkileikkaus, paikoin kolmekin kappaletta. Paalulta 720 alkaen on tehty puristin-heijarikairauksia 40–60 m välein paalulle 1000. Kuvassa 19 on esitetty noin paalulle 1000 tehty 10,58 m syvä puristin-heijarikairaus. Kuvaajassa pylvään vasemmalla puolella on esitetty vääntömomentti ja oikealla puolella kärkivastus ja lyönnit 20 cm painumaa kohti. Muut tälle välille tehdyt puristinheijarikairaukset ovat alle 5 m syviä. Kairauspisteitä on 1–2 poikkileikkausta kohden ja paikoin pisteet ovat samoja porakonekairausten kanssa. Paalulta 1190 alkaen paalulla 1440 olevalle liikenneympyrälle on tehty painokairauksia ja Kehä III siltojen kohdalla puristin-heijarikairauksia. Liitteessä 5 on esitetty Länsimäentien pohjatutkimuskartta.

Tilajaalta saadun massaluettelon mukaan Länsimäentien uudella osuudella on maaleikkausta yhteensä 73538 m<sup>3</sup>ltr. (A-insinöörit 2013d.) Suurimmat maaleikkaukset sijaitsevat paaluvälillä 940–1100 ja 1160–1400. Maaleikkaus on syvimmillään paalulla 1000 ja paalulla 1300 n. 8 m. Rakennettava tie on yhteensä 1000 m pitkä.



Kuva 19. Puristin-heijarikairaus länsimäentiellä noin paalulla 1000. (A-insinöörit 2013c.)





**Kuva 20. Länsimäentien, Länsimäen eritasoliittymän ramppien E1R1 ja E1R2 sekä Länsimäentien eritasoliittymän linjaukset merkitty punaisella.**

#### 4.1.4 Länsimäen eritasoliittymän ramppi E1R1

Ramppi E1R1 on VT7:lta nykyiselle Fazerilan risteys sillalle rakennettava uusi ramppi. Ramppi nousee Porvoonväylältä Helsingin suunnasta ajettaessa risteys sillan eteläpuolelle Länsimäentielle. Paaluvälillä 0–180 ramppi kulkee VT7:n levennyksenä matalalla penkereellä. Tällä osuudella pohjamaa on työselostuksen maaperätietojen perusteella kantavaa hiekkaa, soraa ja moreenia. Paalulta 180 ramppi erkane VT7:sta. Paaluvälillä 340–560 ramppi kulkee leikkauksessa, leikattavan pohjamaan ollessa työselostuksen maaperätietojen mukaan täytemaata, hiekkaa ja moreenia. Paaluvälillä 460–540 myös kallio leikkautuu rampin kohdalta. (A-insinöörit 2013, s.39.)

Rampin kohdalla on tehty puristin-heijarikairauksia paalulta 260 alkaen keskimäärin 40 m välein paalulle 560 asti. Lisäksi rampin alueelta on tehty seitsemän porakonekairausta paalujen 400 ja 500 välillä ja kaksi painokairausta paaluille 525 ja 564. Liitteessä 6 on esitetty rampin pohjatutkimuskartta.

Tilaajalta saadun massaluettelon mukaan rampilla on maaleikkausta yhteensä 34082 m<sup>3</sup> ktr. (A-insinöörit 2013d.) Suurimmat maaleikkaukset ovat paaluvälillä 340–480. Syvimmillään maaleikkaus on 10 metriä. Rakennettava ramppi on yhteensä 560 m pitkä.

#### 4.1.5 Länsimäen eritasoliittymän ramppi E1R2

Ramppi E1R2 on nykyiseltä Fazerilan risteys sillalta VT7:lle rakennettava uusi ramppi. Ramppi laskee risteys sillan pohjoispuolelta Länsimäentieltä Porvoonväylälle Helsingin ajosuuntaan. Paaluvälillä 0–220 ramppi kulkee kokonaan maaleikkauksessa. Rampin linjaus kulkee Porvoon väylän olevan tieleikkauksen kohdalla, minkä vuoksi uuden leikkauksen poikkileikkauksen maanpinta on vasemmalle laskeva. Työselostuksen maaperätietojen perusteella pohjamaa on täytemaata, hiekkaa ja soraa. Ramppi liittyy Porvoonväylään noin paalulla 300. Paaluvälillä 300–560 ramppi kulkee Porvoonväylän yhteydessä seuraten maanpinnan tasoa. (A-insinöörit 2013, s. 39–40.)

Rampin kohdalla on tehty puristinheijarikairauksia paalulta 10 alkaen paalulle 180 seitsemästä eri pisteestä. Lisäksi rampin alussa paalulla 0 on tehty yksi paino- ja yksi porakonekairaus Länsimäentien ja uuden rampin liittymäalueella. Liitteessä 6 on esitetty rampin pohjatutkimuskartta.

Tilaajalta saadun massaluettelon mukaan rampilla on maaleikkausmassoja yhteensä 24049 m<sup>3</sup> ktr. (A-insinöörit 2013d.) Suurimmat leikkausmassat ovat paaluvälillä 0–220, jossa ramppi leikkautuu olevaan VT7 leikkaukseen.

#### 4.1.6 Länsimäentien eritasoliittymän ramppi E52R1

Ramppi E52R1 on uuteen Länsimäntien eritasoliittymään E52 rakennettava uusi ramppi R1. Ramppi kulkee paaluvälin 0–160 lännestä tultaessa Kehä III:n rinnalla. Paalulta 160 ramppi erkane Kehä III:sta ja linjautuu sen jälkeen maa- ja kallioleikkauksessa paalulla 540 sijaitsevaan kiertoliittymään, josta on yhteys rakennettavalle Länsimäentielle (Y1). (A-insinöörit 2013, s.20.) Kuvassa 20 on esitetty rampin E52R1 linjaus punaisella merkittynä.

Rampin maaperää tarkasteltiin leikkaustyön yhteydessä paaluvälillä 420–520. Ennen tätä paaluväliä maaperä on työselostuksen mukaan vaihtelevasti savipehmeikköä ja kantavaa silttistä hiekkaa ja moreenia. Paaluvälillä 340–420 ramppi kulkee pohjamaassa olevan

painanteen läpi. Painanteessa on työselostukseen mukaan 20 m matkalla savipehmeikön reuna, jonka paksuus on enimmillään 3 m. Paaluvälillä 360–400 rakennekerrosten alle jäävä savikerros poistetaan tekemällä massanvaihto. Työselostuksen maaperätietojen perusteella paalulta 420 alkaen kallion päällä oleva n. 2–3 m paksu maakerros on kivistä moreenia, soraa ja täyttömaita. Tällä osuudella ramppi leikkautuu koko matkalla pohjamaahan ja kallioon. (A-insinöörit 2013 s.20–21.)

Rampin kohdalle on tehty paalulta 0 alkaen painokairauksia ja puristin-heijarikairauksia 20–40 m välein. Painokairaukset loppuvat paalulle 340 ja puristin-heijarikairaukset paalulle 440. Osassa puristin-heijarikairauspisteissä on tehty myös porakonekairaus. Kairauksia on tehty paikoin kaksi poikkileikkausta kohden. Paaluvälillä 460–540 on tehty vain porakonekairauksia. Liitteessä 7 on esitetty rampin pohjatutkimuskartta.

Tilaajalta saadun massaluettelon mukaan rampilla on maaleikkausta yhteensä 16441 m<sup>3</sup>ltr. (A-insinöörit 2013d.) Suurimmat maaleikkaukset ovat paaluvälillä 260–340 ja 440–500. Syvimmillään maaleikkaus on 3–4 m poikkileikkausten perusteella paalulla 480. Rakennettava ramppi on yhteensä 540 m pitkä.

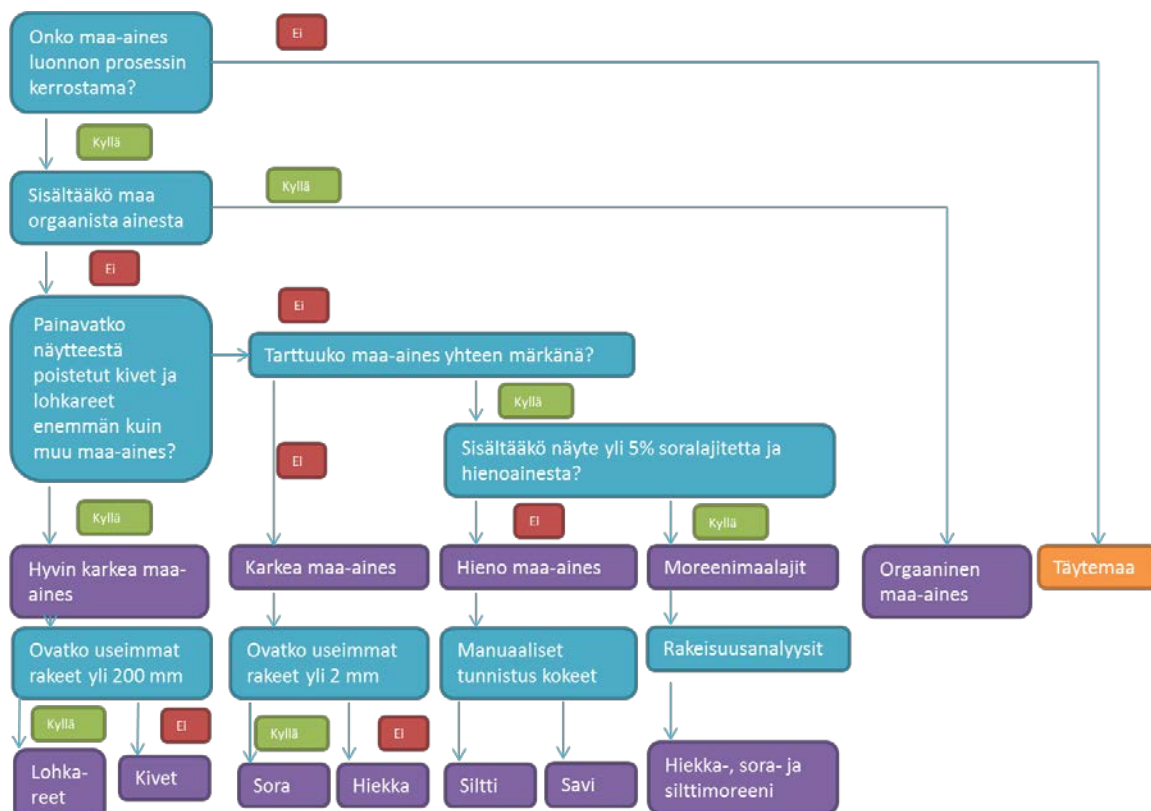
## **4.2 Tutkimusaineiston kerääminen ja käsittely**

### **4.2.1 Silmämääräiset havainnot ja käsin tehtävät tunnistuskokeet**

Työn tutkimusosuuden aikana kerättiin tietoa kohteen maalajeista silmämääräisten havaintojen, käsin tehtävien tunnistuskokeiden, rakeisuustutkimusten, koekuoppien ja mittalaitteistolla tehtävien kartoitusten avulla. Maastossa tapahtuva tunnistaminen tehtiin kuvassa 21 olevan prosessin mukaisesti. Prosessi perustuu eurokoodin kaavioon maan tunnistamiseksi ja kuvailemiseksi (SFS-EN ISO 14688-1 s.7)

Maalajin tunnistamisessa urakoitsijan näkökannalta tärkeintä on tunnistaa ne ominaisuudet, jotka vaikuttavat maalajin kelpoisuuteen eri rakenteissa. Eri käyttökohteisiin sopivia kelpoisuuksia on esitetty luvussa 3.1. Käyttökelpoisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. se onko maa kivennäismaalajia vai eloperäistä sekä maan hienoainespitoisuus ja routivuus.

Maalajin tunnistusprosessin ensimmäisenä vaiheena on määrittää, onko maa luonnollista maata vai täytemaata. Riippuen siitä onko täytemaa luonnon maan kaltaista, voidaan täytemaasta määrittää joko täytemaan maalaji tai kelpoisuusluokka. Luonnollisesta maasta määritetään seuraavaksi, onko kyseessä eloperäinen vai kivennäismaalaji. Jos kyseessä on kivennäismaalaji, määritetään seuraavaksi, onko kyseessä hieno vai karkearakeinen maalaji vai moreeni. Kivennäismaalajeista pyritään lisäksi määrittämään hienoaineksen määrän perusteella maan routivuus. Maastossa tehtyt maalajien määritykset perustuvat silmämääräisiin havaintoihin ja käsin tehtyihin tunnistuskokeisiin. Luvussa 2.3 Maalajien tunnistaminen on esitelty maastossa tehtävät tunnistuskokeet.



Kuva 21 Maa-aineksen tunnistusprosessi

#### 4.2.2 Rakeisuuskäyrät

Tutkimuskohteessa tehtiin rakeisuusmäärittämiä maalajien kelpoisuuksien määrittämiseksi urakan laatuaineistoa varten ja maastossa tehtyjen silmämääräisten ja manuaalisten maalajimääritysten varmistamiseksi. Rakeisuustutkimuksia varten maastosta otettiin näytteitä, jotka toimitettiin laboratorioon tutkittavaksi. Näytteitä otettiin pääosin leikkauksista, joiden massoja hyödynnettiin työmaalla penkereissä, täytöissä, ja pohjaveden-suojauksessa. Näytteitä otettiin koekuoppien kaivamisen ja maan leikkaustyön aikana.

Näytteistä määritettiin pesuseulonnalla rakeisuus. Rakeisuuden perusteella määritettiin näytteiden kelpoisuusluokka. Rakeisuuksien määrittämiä suorittivat sekä Aalto Yliopiston Pohjarakennuksen ja maamekaniikan laboratorio, että Raimo Peräkylä Oy. Koko rakeisuuskäyrän määrittämisen lisäksi Aalto Yliopiston Pohjarakennuksen ja maamekaniikan laboratoriossa tehtiin lisäksi määrittämiä, joissa osasta näytteistä tarkistettiin hienoainek-sen ja soralajitteen määrä maalajin maastossa tehdyn luokituksen varmistamiseksi.

#### 4.2.3 Koekuopat

Tutkimuskohteessa kaivettiin koekuoppia maaperätietojen selvittämiseksi. Koekuoppia kaivettiin kohteisiin ennen varsinaisten leikkaustöiden aloittamista, jotta kohteista saata-vaa tietoa voitaisiin hyödyntää töiden suunnittelussa ja ohjaamisessa. Koekuoppia kaivet-tiin tarkemmin käsiteltävistä kohteista Länsimäentien jatkeelle, E1R1 rampille ja E52R1 rampille. E1R2 rampille ei kaivettu koekuoppia, sillä rampin leikkaustyöt lähtivät käyn-tiin heti työmaan alussa.

Koekuopista määritettiin maakerrosten kerrosrajat ja maalajit. Kerrosrajojen syvyys mää-ritettiin mittanauhalla mittaamalla maanpinnan tasosta. Maanpinnan tason korko otettiin

kiinni mittalaitteella, jolloin myös maakerrosten rajapintojen korot voitiin laskea. Maakerrosten maalajit määritettiin silmämääräisiin ja manuaalisiin havaintoihin perustuen. Lisäksi maalajikerroksista otettiin näytteitä, joista määritettiin rakeisuus. Näytteitä otettiin niin, että alueella havaitusta jatkuvasta maakerroksesta otettiin vähintään yksi näyte.

Kuoppia kaivettaessa tehtiin havaintoja kaivettavuudesta ja kaivannon seinien sortumisesta. Havaintoja tehtiin mm. pohjaveden virtaamisesta kuoppaan ja maaperän kivisyydestä. Koekuopista tehdyt havainnot ja mittaukset merkittiin pöytäkirjaan. Lisäksi koekuopista otettiin valokuvia, joita voitiin myöhemmin esittää mm. työnjohdolle, joka ei ollut paikalla kuoppia kaivettaessa.

#### **4.2.4 Maalajirajojen kartoitus kaivinkoneella ja mittalaitteilla**

Tutkimuskohteesta kerättiin mahdollisimman tarkkaan tietoa maaleikkausmassojen laadusta ja määrästä. Tutkimuksessa kartoitettiin maalajien rajapintoja kahdella menetelmällä, kaivinkoneen koneohjausjärjestelmällä ja mittamiehen kanssa GPS-mittalaitteistolla. Lisäksi maalajihavaintoja kirjattiin käsin muistiin maastossa mittakepeistä arvioituille likimääräisille paaluluvuille.

Koneohjausjärjestelmän avulla kaivinkoneen kuljettaja voi kartoittaa tarkepisteen koneen kauhalla ja tallentaa sen koneohjausjärjestelmän ajoneuvotietokoneen muistiin. Koneen paikannus perustuu satelliittipaikannukseen ja kauhan sijainnin laskeminen kaivinkoneeseen asennettuihin antureihin. (Parkkari 2011, s.32.) Tutkimuksessa koneiden kuljettajia ohjeistettiin tallentamaan maalajien rajapinnasta tarkepisteitä. Tarkepisteet ohjeistettiin nimeämään maalajin yläpinnan mukaan. Esimerkiksi saven yläpinnasta otettu tarkepiste on nimeltään sa tai sa yp. Konekuskin luona käytiin säännöllisin väliajoin muistuttamassa tarkepisteiden tallentamisesta. Samalla voitiin tehdä silmämääräisiä havaintoja maalajeista ja niiden kerrosjärjestyksestä.

Maalajien rajapintoja kartoitettiin myös mittamiehen kanssa GPS-mittalaitteistolla. Kartoituksen periaate oli sama kuin kaivinkoneilla tehdyissä kartoituksissa. Maalajien rajapinnoista tallennettiin tarkepisteitä, jotka nimettiin maalajin mukaan. Mittamiehen kanssa kartoitettiin myös maalajien vaihtuminen tielinjauksen suunnassa. Kaivinkoneella pyrittiin ensisijaisesti tallentamaan tarkepisteitä, jotka kuvaavat maalajien kerrosjärjestystä ja pintoja alueilla, joilla on yhtenäiset selkeät pohjaolosuhteet.

#### **4.2.5 Maalajirajojen mallintaminen ja massamäärien ja laatujen vertailu**

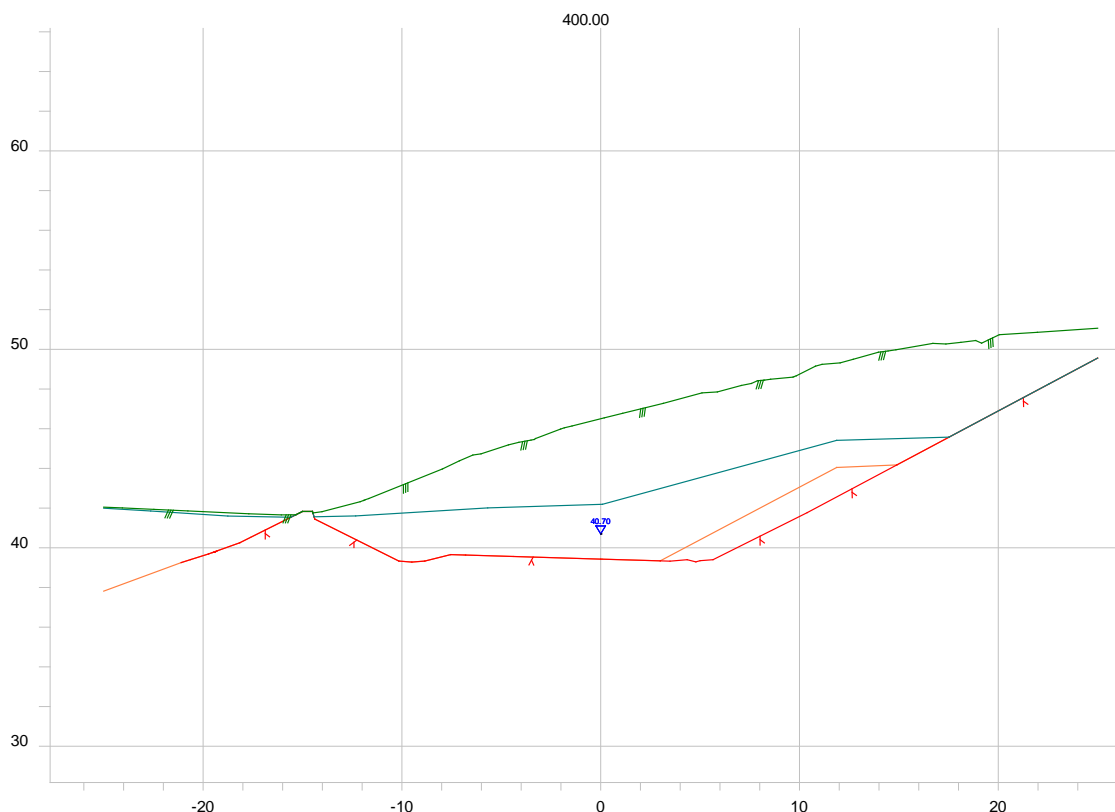
Tutkimuksessa verrattiin työselostuksen maaperäkuvausten ja kairauspisteiden perusteella laskettuja ja työmaalla todettuja maalajimääriä. Työmaalla todetut maalajimäärät perustuivat koneohjauksella ja mittamiehen kanssa tehtyihin kartoituksiin ja niiden perusteella tehtyyn malliin, josta laskettiin maalajien määrät.

Kohteen työselostuksen maaperäkuvauksissa on kuvattu rampeittain, millainen maaperä tietyllä paaluvälillä on. Lisäksi urakka-aineistoon kuuluivat paalukohtaiset massaluettelot, joissa ei ollut maalajeja tai kelpoisuuksia valmiina luokiteltuna. Urakan laskentavaiheessa leikkausmassat luokiteltiin paalukohtaisiin massaluetteloihin maaperäkuvauksien perusteella. Tätä laskentavaiheessa luotua aineistoa käytettiin yhtenä maalajimäärien ja laatujen vertailuaineistona.

Hankkeen urakka-asiakirjoihin sisältyi myös kairausaineisto. Kairautietojen perusteella tehtiin tutkimuksen aikana pintamalli maalajien määrien vertailua varten. Urakoitsijalle ei toimitettu tilaajan puolesta maaperämallia, jossa olisi maalajikerrokset määritettynä. Maalajikerrosten mallintamisessa käytettiin seuraavia periaatteita:

- Maalajit arvioitiin urakoitsijalla olevan kairausaineiston perusteella ja kairauspisteissä olevien tulkintojen perusteella.
- Näytepisteiden tuloksia painotettiin maalajin tulkinnassa
- Maalajin kerrosrajan oletettiin jatkuvan suorana kairauspisteeltä toiselle
- Maalajin kerrosrajan oletettiin jatkuvan vaakatasossa suorana poikkileikkauksessa sivuille, jos sivuilla ei ollut kairauspisteitä.
- Maalajikerrokset eivät leikkaa maanpintaa

Kuvassa 22 on esimerkki kairauspisteiden perusteella tehdystä rampin E1R1 täytemaan hiekan ja moreenin mallista paalulta 400. Poikkileikkauksessa vihreä maakerros on täytemaata, sininen hiekkaa ja oranssi moreenia.



Kuva 22 E1R1 poikkileikkaus PL400 (vihreä: täytemaa, sininen: hiekka, oranssi: moreeni)

#### 4.2.6 Näytetietojen vertaaminen lähimpään kairauspisteeseen

Pohjatutkimusten ja todettujen maalajien vastaavuutta ja pohjatutkimuksiin liittyviä epävarmuuksia arvioitiin tutkimusosuudessa vertaamalla pohjatutkimuspisteitä niiden lähellä sijaitseviin näytepisteisiin.

Vertailu toteutettiin laskemalla erotus todettujen maakerrosten kerrospaksuuksien ja kairauksista saatavien kerrospaksuuksien välillä. Toteumatieto maalajien kerrospaksuuksista

kerättiin ennen varsinaisia maaleikkaustöitä tehdyistä koekuopista ja maaleikkauksen aikana tehdyistä havainnoista. Koekuopat ja havaintopisteet ovat noin 0–20 m etäisyydellä kairauspisteistä, joihin niitä verrattiin. Vertailu tehtiin kolmesta urakan suuresta maaleikkauksesta, Länsimäentiestä, Länsimäentien eritasoliittymän rampista E52R1 ja Länsimäen eritasoliittymän rampista E1R1.

#### **4.2.7 Massatalouden hallinta**

Työn tavoitteena oli kehittää prosessi hankkeen massatalouden hallintaan maaperätietoja hyödyntämällä. Tutkimuksessa seurattiin erityisesti maalajien vaikutusta suunniteltujen massansiirtojen toteutumiseen. Tarkastelussa verrattiin urakan laskentavaiheessa tehtyä massansiirtosuunnitelmaa työmaan aikana havaittuihin toteutuneisiin siirtoihin. Siirroista, jotka eivät toteutuneet suunnitelman mukaan, selvitettiin työnjohdolta syy siirron kohteen muuttumiseen.

Maaperätiedon seurantaan perustuvan massatalouden hallinnan prosessin kehittämiseen käytettiin pääosin kirjallisuudesta saatua tietoa, johon tutustuttiin kirjallisuusosiossa. Kirjallisuustietojen lisäksi kerättiin tietoa massatalouden hallinnasta haastattelemalla suunnittelijan, tilaajan ja urakoitsijan edustajia. Prosessin kehittämistä täydennettiin työmaalla tehtyjen omien havaintojen sekä maalajien määrien ja laatujen seurannasta saatujen tulosten perusteella.

## 5 Tulosten arviointi ja pohdinta

### 5.1 Havainnot maalarajien toteumatiedon keräämisestä

#### 5.1.1 Havainnot maalarajien kartoittamisesta

Haasteena maalarajien kartoittamisessa on se, että maalarajien rajapinnat ovat usein esillä vain hetken ennen kuin ne kaivetaan pois. Esimerkiksi kallionpinnan kartoittaminen on yksinkertaisempaa kuin maalarajien kartoittaminen, sillä kallioita ei voida kaivaa pois. Usein maaleikkauksen ja kallion louhinnan välissä on useita päiviä aikaa, jolloin kallionpinta ehditään kartoittamaan vaikka sitä ei tehtäisi heti maaleikkauksen yhteydessä. Lisäksi eri maalarajien rajapinnat eivät ole yhtä selkeitä kuin kallion ja maan välinen rajapinta.

Eniten havaintopisteitä maalarajien rajapinnoista saatiin koneohjauksen avulla tehdyistä kartoituksista. Tällöin kuski pystyi ottamaan tarkepisteitä kokoajan leikkauksen edetessä. Mittamies kartoitti maalarajien rajapintoja esimerkiksi leikkauksen sivusta valmiiksi leikattusta luiskasta. Lisäksi mittamies kartoitti rajapintoja joissa maalaraji vaihtui leikkauksen edetessä tien pituussuunnassa. Mittamiehen kartoitusten perusteella tehty pintamallit olivat huomattavasti koneohjauksen perusteella tehtyjä malleja harvempia. Toteumatietoa maalarajikerroksista saatiin myös kohteeseen ennen leikkauksen aloittamista tehdyistä koekuopista. Koekuoppia kaivettiin suurimpiin leikkauksiin n. 20m välein, jolloin myös niistä saatu tieto oli hyvin pistekohtaista. Käytännössä rakennustöiden yhteydessä ei ole järkevää tehdä koekuoppia kovin tiheästi, sillä niiden kaivamiseen kuluu aikaa, jonka kaivinkone voi käyttää myös varsinaiseen leikkaustyöhön.

Maalarajien kartoittaminen koneohjauksen avulla toimi parhaiten kohteissa, joissa oli selkeät maalarajien rajapinnat. Esimerkiksi kohteessa, jossa on maan pinnassa n.1 m paksu hiekkakerros ja sen alla savikerros. Tällaisissa selkeissä kohteissa tarkepisteiden ottaminen oli konekuskista mielekästä. Kohteissa, joissa maalarajit vaihtelivat pienipiirteisesti, konekuskit eivät katsoneet tarkkeiden ottamisen olevan mielekästä. Esimerkiksi maanpinnassa moreenin päällä olevan ohuen hiekkakerroksen kiinni ottaminen ei ollut järkevää, sillä hiekkakerros sekoittui moreeniin kaivettaessa. Myös kohteessa, jossa maalaraji vaihtelee leikkauksen edetessä pituussuunnassa pienipiirteisesti esimerkiksi hiekkaisen siltin, siltin ja moreenin välillä, oli maalarajin rajan kartoittaminen haastavaa konekuskille. Kuvassa 23 on esimerkki leikkauksesta, jossa saven päällä on selkeä hiekkakerros.





**Kuva 23 Länsimäentien maaleikkaus, hiekkakerros savikerroksen päällä**

Työn aikana yhtenä ongelmana havaittiin koneohjauslaitteen käyttämisen yksiselitteisyys. Osa työhön kerätyistä tarkepisteistä oli käyttökelvottomia, sillä pisteet oli tallennettu koneohjausjärjestelmän ohjelman väärässä tilassa, jolloin pisteiden koordinaattitiedot olivat tallentuneet antennin päästä, eivätkä kauhan reunasta. Tämä ongelma havaittiin vain yhden valmistajan koneohjausjärjestelmässä. Ongelma voidaan vastaisuudessa estää tarkistamalla tarkepisteet, joita kuski ottaa, säännöllisesti.

Kartoituksia tehtäessä huomattiin, että kartoitus toimii parhaiten, kun sama kone kartoittaa selkeän kokonaisuuden, esimerkiksi kokonaisen rampin leikkauksen. Tällöin tarkkeiden ottaminen on yhtenäistä koko leikkauksen matkalta. Lisäksi tällöin riittää, että yhden konekuskin kanssa käydään läpi mitä maalajeja kohteessa on odotettavissa pohjatutkimusten perusteella.

Työn aikana havaittiin, että kerätyn toteumatiedon luotettavuuteen vaikuttaa mm. koneohjausta käyttävän kuskin motivaatio ja mielenkiinto tarkkeiden ottamiseen, sekä kuskin tietämys maalajeista. Motivaatio saattaa vaikuttaa mm. siihen kuinka tarkkaan ja tiheästi tarkkeita on otettu ja ulottuvatko tarkkeet maalajipinnan reunoille asti. Varmuutta siitä, että tarkepisteitä kerättiin, voitiin parantaa muistuttamalla kuskia tarkkeiden ottamisesta ja tarkastamalla ajoittain kuskin ottamat tarkkeet. Lisäksi hyvin vesipitoisissa leikkauksissa toteumatiedon epätarkkuutta lisää se, että esimerkiksi saven ja sen alla olevan siltin tai silttisen hiekan rajapintaa on vaikea erottaa, sillä maakerrokset sekoittuvat kaivettaessa.

Mittamiehen kanssa tehdyissä kartoituksissa oli useita hyviä puolia. Yksi etu oli, että kartoituksessa mukana oleva työmaainsinööri voi osallistua maalajien ja niiden rajapintojen sijainnin arviointiin, ja tietää myöhemmin millaisista kohdista kartoituspisteet on otettu. Lisäksi tutkimuskohteessa oli hyötyä mittamiehen aiemmasta kokemuksesta pohjatutkimusten tekemisestä, jolloin kerätty tieto maalajeista oli konekuskien keräämää tietoa luotettavampaa. Lisäksi mittamiehen on kaivinkonekuskia helpompi kartoittaa laajoja kokonaisuuksia esimerkiksi alue jolla esiintyy tiettyä maalajia. Huonona puolena mittamiehen

tekemissä maalajikartoituksessa on rajapinnoista saatava koneohjausta harvempi pistetiheys. Harvempi pistetiheys johtuu siitä, että mittamies ei voi olla jatkuvasti paikalla maaleikkauksen edetessä.

### 5.1.2 Havainnot maalajien tunnistamisesta ja luokittelusta

Tutkimuksen aikana todettiin, että maastossa tehtyjen silmämääräisten havaintojen perusteella maalajeista voidaan määrittää melko luotettavasti sora, hiekka, moreeni, siltti, savi ja turve. Vain yhdessä, todennäköisesti täytemaata sisältävässä kohteessa, maalaji tulkittiin hiekaksi, vaikka se oli rakeisuuskäyrän perusteella moreenia. Moreenin luokittelu tarkemmin hiekka-, sora- ja silttimoreeneihin silmämääräisesti on haastavaa, samoin kuin hiekkaisen siltin, silttisen hiekan, silttimoreenin ja siltin erottaminen. Hiekan routivuus voidaan arvioida käyttämällä vertailutietona muista vastaavista näytteistä tehtyjä rakeisuuskäyriä. Myös muiden maalajien, kuin hiekan, tunnistamisessa voidaan käyttää vertailunäytteitä.

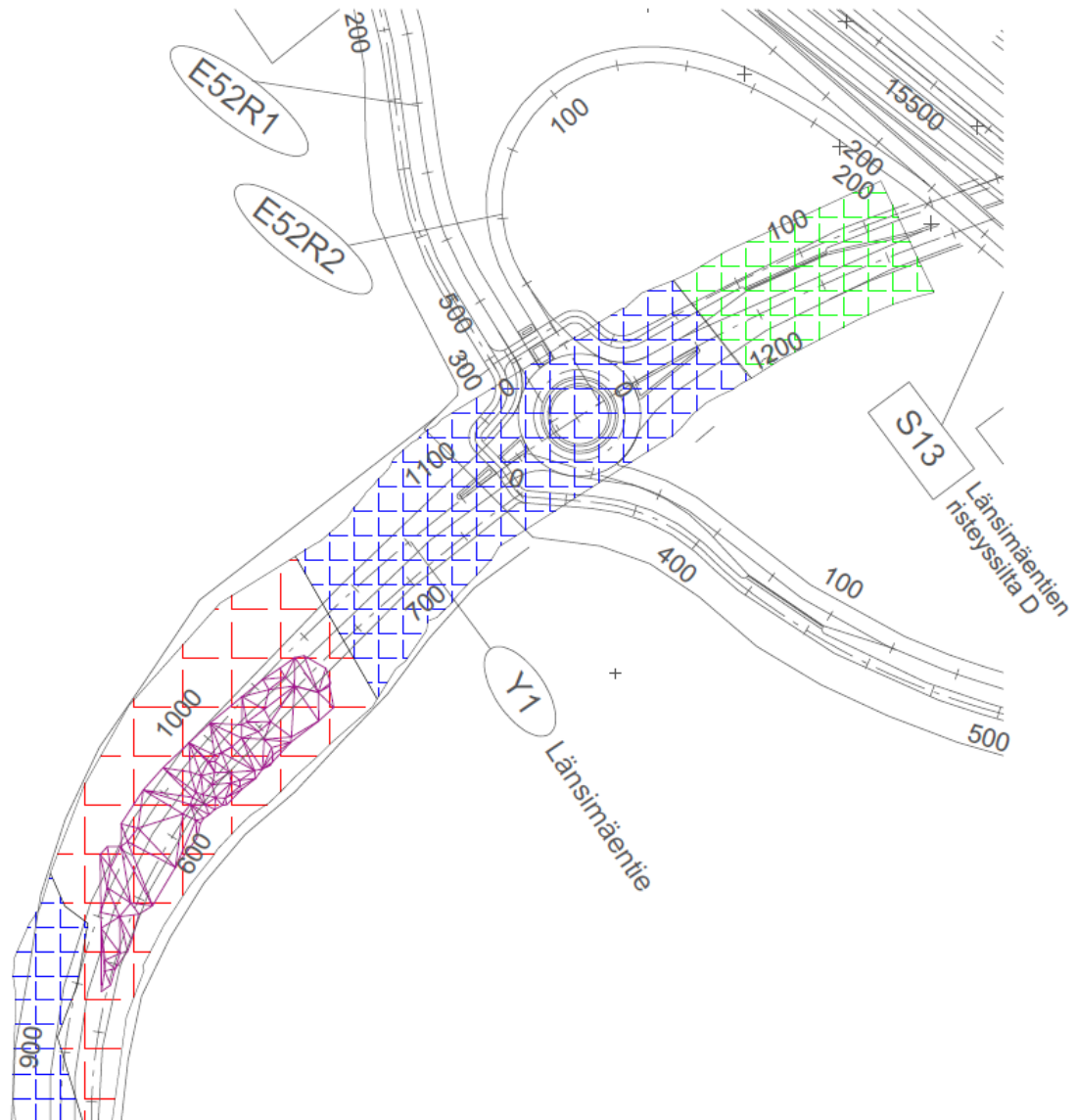
Tutkimuksessa todettiin, että toteumatietoa kannattaa kerätä sellaisella tarkkuudella, mistä on hyötyä urakoitsijalle. Hyödyllinen toteumatiedon keräystarkkuus määräytyy sen perusteella millaisia käyttökohteita työmaalla on ja mikä on maalajien käyttökelpoisuus erityyppisissä kohteissa. Tutkimuksessa todettiin, että kivennäismaalajien käyttökelpoisuus voidaan jaotella karkeasti routimattomiin täyttöihin kelpaaviin maihin, pengertäyttöihin kelpaaviin maihin, sekä maastomuotoiluihin ja läjitykseen kelpaaviin maihin. Tämä luokitus vastaa InfraRYL kelpoisuusluokkia SH1, SH2–4 ja U.

Käytännössä toteumatietoa pystytään keräämään tarkkuudella, jossa erotellaan hiekka, sora, moreeni, siltti ja savi. Tällöin hiekka ja sora sisältyvät pääosin routimattomiin maihin, moreenit pengertäyttöihin kelpaaviin maihin ja siltit ja savet läjitykseen meneviin maihin. Ristiriitana InfraRYL kelpoisuusluokkien ja toteumatiedon keräystarkkuuden välillä on se, että hiekka voi hienoainespitoisuudesta riippuen kuulua H1–H3 luokkiin ja moreeneita voi esiintyä luokissa SH1–4 ja U1. Samat ristiriidat ovat myös kairauksen tulokinnan ja kelpoisuusluokkien välillä, sillä kairauksesta ei voida määrittää tarkkaa hienoainemäärää. Tarvittaessa hienoainemäärä voidaan määrittää näytteestä.

## 5.2 Tutkimuskohteiden massamäärien vertailu

### 5.2.1 Länsimäentie Y1

Länsimäentien jatkeen tarkastelun kohteena on paaluväli 860–1240 jolla sijaitsevat kohteen suurimmat maaleikkaukset. Kuvassa 24 on esitetty maaleikkaustöiden yhteydessä havaitut maalajialueet. Noin paaluvälillä 860–900 on moreenialue. Sen jälkeen paaluvälillä 900–1050 on hiekka-alue. Hiekka-alueen keskellä havaittiin savikerros. Tämän jälkeen paaluvälillä 1050–1180 on moreenialue, jolla on paikoin pinnassa hiekkakerros. Paaluvälillä 1180–1240 maan pinnassa on hiekkakerros, sen alla savea, ja paikoin ohut kerros moreenia ennen kallion pintaa.



**Kuva 24. Länsmäntiellä havaitut maalajialueet. Rasteroidut alueet: sininen on moreenialue, punainen on hiekka-alue, jonka keskellä savialue, vihreä on savialue, jonka päällä on kerros hiekkaa.**

Länsmäen tien jatkeen maamassat lajiteltiin hankkeen laskentavaiheessa työselostuksen paaluvälikohtaisten maaperäkuvausten perusteella hiekkoihin, moreeneihin sekä saviin. Laskentavaiheen maalajimääriä verrattiin sekä tielinjausta leikattaessa todettuihin maalajeihin, että laskentavaiheen jälkeen tehdyn maaperämallin perusteella laskettuihin maalajimääriin. Tarkastelun kohteena on paaluvälillä 860–1240 sijaitseva massamäärältä suuri maaleikkaus. Taulukossa 12 on esitetty laskentavaiheessa maaperäkuvausten perusteella arvioidut, kairauksista luodun maaperämallin perusteella lasketut ja rakentamisvaiheessa todetut maalajimäärät Länsmäntien paaluvälillä 860–1240. Lisäksi taulukossa on esitetty laskentavaiheen maalajimäärien ja todettujen maalajimäärien erotus, ja erotuksen osuus kohteen kokonaismaaleikkausmäärästä sekä urakan kokonaismaaleikkausmäärästä.

**Taulukko 12 Y1 PL860–1240 maalajit ja määrät ja laskennan ja todetun erotuksen osuudet kohteen ja urakan maaleikkausmääristä.**

	Laskenta	Pohjatutki- musmalli	Todettu	Todetun ja las- kennan erotus	Erotus suhteessa kohteeseen	Erotus suhteessa koko urakkaan
	m <sup>3</sup> ktr	m <sup>3</sup> ktr	m <sup>3</sup> ktr	m <sup>3</sup> ktr	%	%
Hiekka ja sora	35985	33196	24247	-11738	-29 %	-4 %
Moreeni	4733	5614	11886	7153	18 %	2 %
Savi	0	2121	5796	5796	14 %	2 %
Täytemaa	-	-	-	-	-	-
Yhteensä	40718	40931	41929	-	-	-

Laskentavaiheen maamassojen ja maaperämallin maamassojen merkittävänä erona on savi, jota ei oletettu olevan maaperäkuvausten perusteella tarkastelun kohteena olevalla paaluvälillä. Kairausten perusteella tehdyssä maaperämallissa savea oli kuitenkin 2121 m<sup>3</sup>ktr. Paaluvälillä 940–1000 savea oli havaittu hiekkakerroksen keskellä kahdessa puristin-heijarikairauksessa, mutta ei viereisissä porakonekairauksissa. Lisäksi savea oli havaittu paalulta 1200 alkaen painokairauksissa. Laskentavaiheessa paaluvälille 940–1260 ei ole maaperäkuvausten perusteella arvioitu savea ollenkaan.

Laskentavaiheen maamassoissa ja maaperämallin maamassoissa on jonkin verran eroa hiekan ja moreenin määrissä. Laskentavaiheessa maaperäkuvausten perusteella hiekkaluokan on oletettu olevan laajempi, kuin kairausten perusteella tehdyssä mallissa, jossa hiekan lisäksi on myös moreenia.

Todettujen maalajimäärien ero laskennassa olleisiin ja maaperämallin maalajimääriin oli huomattavasti suurempi kuin laskennan ja maaperämallin välinen ero. Todetuissa maalajeissa sekä hiekka, savi että moreenimäärät erosivat huomattavasti laskennan ja maaperämallin määristä. Tarkasteltavaa kohdetta rakennettaessa todettu saven määrä paaluvälillä 860–1240 oli 5796 m<sup>3</sup>ktr, kun laskennassa se oli 0 m<sup>3</sup>ktr ja maaperämallin mukaan 2121 m<sup>3</sup>. Savea havaittiin samoissa kohteissa kuin kairauksissa, mutta havainnot ulottuivat laajemmalle alueelle, kuin kairauksissa ja myös paksumpana kerroksena.

Myös hiekan ja moreenin määrässä on suuri ero verrattaessa todettuja maalajimääriä laskentaan ja maaperämallin määriin. Suuri hiekan määrä laskentavaiheessa johtuu maaperämallin kuvausten perusteella tehdystä oletuksesta että paaluvälillä 710–1120 olevat massat ovat hiekkaa. Oletus perustuu työselostuksen maaperäkuvaukseen, jossa sanotaan että paaluvälin massat ovat pääosin hiekkaa, näytetietojen perusteella hienoa hiekkaa ja soraista hiekkaa. Todellisuudessa hiekka alueella havaittiin kuitenkin savikerros paaluvälillä 920–1040.

Lisäksi tarkasteltavan paaluvälin alussa noin paaluilla 860–940 havaittiin moreenia ja maaperäkuvausten perusteella arvioitu hiekkaluokan alue muuttui pääosin moreeniksi tarkasteltavan alueen lopulla noin paalulla 1050. Paaluvälillä 1080–1180 kallionpinta oli noin 1–2 m syvyydellä maanpinnasta. Maaperämallin mukaan alueen maamassoista oli noin puolet hiekkaa, kun taas havaintojen mukaan hiekkaan oli maanpinnassa, vain alle 0,5 m kerros eli noin viidesosa alueen massoista. Nämä paaluvälit joilla havaittiin moreenia, olivat

laajan hiekka-alueen reunoilla, joissa kallionpinta nousi maanpintaan tai lähelle maanpintaa. Alueelle tehdyt kairaukset olivat porakonekairauksia ja puristin-heijarikairauksia.

Eri periaatteilla lasketuissa maalajimäärissä on havaittavissa selkeitä eroja. Eroja tarkasteltaessa on kuitenkin huomioitava, että toteumamalliin ja kairausten perusteella tehtyyn maaperämalliin sisältyy molempiin oma epävarmuutensa. Toteumamalliin epävarmuutta tuo toteumatiedon kartoituksen tarkkuus. Kairausten perusteella tehtyyn maaperämalliin sisältyy epävarmuus siitä, miten kairausten perusteella tulisi muodostaa malli maalajirajoista. Kairausten perusteella muodostetut maalajien pinnat ovat aina subjektiivista tulokintaa maalajin todellisesta rajapinnasta.

Erityisesti saven määrään tuo epävarmuutta konekuskin ottamien tarkkeiden paikkansa-pitävyys. Kuskin mukaan kaivettaessa oli vaikeaa erottaa saven ja silttisen hiekan tai moreenin rajapinta, sillä työkohteessa oli paljon vettä ja maalajit sekoittuivat helposti kaivettaessa. Toisaalta konekuskin tarkkeista laskettu saven määrä kertoo kohteeseen suunnitelmista poiketen tehdyn massanvaihdon määrän, niin tarkasti kuin se työmaaoiloissa voidaan määrittää. Massanvaihdon kohdalla savikerros näkyi kahdessa puristin-heijarikairauksessa, mutta ei viereisissä porakonekairauksissa.

### 5.2.2 Ramppi E1R1

Rampin maaperästä ei saatu tarkkaa toteumatietoa, sillä kohteen maamassoja ei ehditty leikata tämän työn valmistumisen aikana. Rampin maamassoista tehtiin kuitenkin vertailu, jossa tarkasteltiin laskentavaiheessa maaperäkuvausten perusteella oletettujen maamassojen ja myöhemmin kairausten perusteella tehdyn maaperämallin maamassojen eroja. Taulukossa 13 on esitetty eri menetelmien perusteella lasketut maalajit ja määrät. Lisäksi taulukossa on esitetty laskentavaiheen maalajimäärien ja todettujen maalajimäärien erotus, ja erotuksen osuus kohteen kokonaismaaleikkausmäärästä sekä urakan kokonaismaaleikkausmäärästä.

**Taulukko 13 E1R1 maalajit ja määrät ja laskennan ja pohjatutkimusmallin erotuksen osuudet kohteen ja urakan maaleikkausmäärästä.**

	Laskenta	Pohjatutkimusmalli	Todettu	Laskennan ja pohjatutkimusmallin erotus	Erotus suhteessa kohteeseen	Erotus suhteessa koko urakkaan
	m <sup>3</sup> ktr	m <sup>3</sup> ktr	m <sup>3</sup> ktr	m <sup>3</sup> ktr	%	%
Hiekka ja sora	17041	8973	-	-8068	-24 %	-3 %
Moreeni	17041	8485	-	-8556	-25 %	-3 %
Savi	-	-	-	-	-	-
Täytemaa	0	16444	-	16444	48 %	6 %
Yhteensä	34082	33902	-	-	-	-

Laskennassa arvioiduissa ja maaperämallin perusteella lasketuissa maalajimäärissä on rampin kohdalla eroja hiekan ja soran, moreenin ja täytemaan määrissä. Maalajimäärien erot johtuvat suurelta osin laskennassa tehdyistä oletuksista. Laskentavaiheessa on oletettu että kairauksissa havaittu täytemaa olisi pengermateriaaliksi kelpaavaa moreenia vastaavaa maata. Lisäksi laskentavaiheessa on arvioitu karkeasti, että massoista puolet on

moreenia tai vastaavaa täytemaata ja puolet hiekkaa. Tämä oletus perustuu poikkileikkausten ja niissä näkyvien kairauksen perusteella tehtyyn nopeaan silmämääräiseen arvioon maalajimääristä. Myöhemmin laskentavaiheen jälkeen tehdyn maaperämallin perusteella leikkauksen massoista noin puolet on täytemaata, neljäsosa hiekkaa ja neljäsosa moreenia.

Kohteessa tehtiin koekuoppia maaperän laadun selvittämiseksi. Pohjatutkimusten perusteella rampin maaperä on pääosin täytemaata, jonka alla oleva perusmaa on hiekkaa ja moreenia. Koekuopista tehty havainnot tukivat pääosin pohjatutkimusten tuloksia. Tosin osassa koekuopista maanpinnassa oleva täytemaakerros oli kairauksesta havaittavaa kerrosta paksumpi. Koekuoppien kohdalla täytemaan havaittiin olevan laadultaan hyvin vaihtelevaa. Täytemaa sisälsi mm. hyvin humuspitoista maata, savea, rakeisuudeltaan moreenin kaltaista maata, louhetäyttöä, kantoja ja betonijätettä. Koekuopista saatujen tulosten perusteella todettiin että tulevaisuudessa, kun rampia kaivetaan, on tärkeää kiinnittää huomioita todelliseen täytemaan määrään. Paikoittain hyvin heikkolaatuiselle täytemaalle on huomattavasti vähemmän käyttömahdollisuuksia kuin sen alla olevalle perusmaalle, jonka pitäisi olla hiekkaa ja moreenia.

### 5.2.3 Ramppi E1R2

Länsimäentien eritasoliittymän pohjoisen rampin maaleikkaukset aloitettiin ensimmäisinä töinä työmaan käynnistyttyä, sillä uusi ramppi oli aikataulun mukaan saatava liikenteen käyttöön aikaisessa vaiheessa. Kohteen maaleikkaukset tehtiin loppuun asti tämän työn aikana, joten kohteesta saatiin kerättyä toteumatietoa. Kohteen laskentavaiheessa arvioituja maalajimääriä verrattiin myöhemmin kairauksen perusteella tehtyyn maaperämalliin ja kerättyyn toteumatietoon. Taulukossa 14 on esitetty laskentavaiheessa maaperäkuvausten perusteella arvioidut, luodun maaperämallin perusteella lasketut ja rakentamisvaiheessa todetut maalajit ja määrät. Lisäksi taulukossa on esitetty laskentavaiheen maalajimäärien ja todettujen maalajimäärien erotus, ja erotuksen osuus kohteen kokonaismaaleikkausmäärästä sekä urakan kokonaismaaleikkausmäärästä.

**Taulukko 14 E1R2 maalajit ja määrät ja laskennan ja todetun erotuksen osuudet kohteen ja urakan maaleikkausmääristä.**

	Laskenta	Pohjatutkimusmalli	Todettu	Todetun ja laskennan erotus	Erotus suhteessa kohteeseen	Erotus suhteessa koko urakaan
	m <sup>3</sup> ktr	m <sup>3</sup> ktr	m <sup>3</sup> ktr	m <sup>3</sup> ktr	%	%
Hiekka ja sora	24934	4169	4540	-20394	-82 %	-7 %
Moreeni	-	-	-	-	-	-
Savi	-	-	-	-	-	-
Täytemaa	-	19940	18364	18364	74 %	6 %
Yhteensä	24934	24109	22904	-	-	-

E1R2 kohteessa on huomattava poikkeama laskentavaiheessa arvioidun ja rakentamisvaiheessa todettujen maalajimäärien välillä. Laskentavaiheessa urakoitsija on oletanut näytetiedon ja maaperäkuvausten perusteella että rampin maamassat ovat kokonaan hiekkaa.

Maaperäkuvauksen mukaan rampin massat ovat täytemaata, hiekkaa ja soraa. Täytemaasta otetuissa kahdessa näytepisteessä on havaittu täytemaata ja humuksista hiekkaa. Urakoitsija on tulkinut laskentavaiheessa myös täytemaan olevan hiekkaa.

Kairausten perusteella tehdyn maaperämallin mukaan rampin maamassoista on noin 80 % täytemaata ja 20 % hiekkaa. Myös ramppia leikatessa todetut maalajit ja määrät vastaavat tätä maaperämallin tietoa. Rampin täytemaan todettiin leikkauksen edetessä olevan hyvin sekalaista humuspitoista ja paikoin savista. Täytemaan seasta löytyi mm. puu-, asfaltti- ja tiilijätettä, öljytynnyri ja auton romu.

Leikkauksen todellisten maalajimäärien suuri poikkeama laskennassa arvioiduista määristä aiheutti haasteita maamassojen sijoittamisessa. Massat oli suunniteltu hyödynnettävän työmaalla pengermateriaalina, mutta käytännössä kaikki täytemaakerroksen massat olivat pengermateriaaliksi kelpaamattomia ja ajettiin meluvalliin.

#### **5.2.4 Ramppi E52R1**

E52R1 rampin massoista leikattiin työn tiedonkeruuvaiheen aikana noin puolet. Maaperästä ei tehty toteumamallia eikä maaperämallia kairausten perusteella, mutta kohteen maaperästä tehtiin havaintoja ennen maaleikkauksen aloittamista koekuoppien avulla ja myöhemmin silmä määräsillä havainnoilla. Tehtyjä havaintoja verrattiin laskennan aikaisiin maalajiluokitukseen ja kohteen pohjatutkimuksiin.

Ennen varsinaisten leikkaustöiden aloittamista rampin paaluvälille 420–490 tehtiin neljä koekuoppaa. Koekuoppien perusteella maaperässä oli pinnassa n. 0,5–1 m hiekkakerros tämän alla silttikerros ja tämän alla kivistä moreenia ennen kalliota. Lisäksi noin paalulle 495 tehdyn koekuopan perusteella pinnassa on n. 0,8 m kerros hiekkaa ja tämän alla moreenia. Koekuoppien tiedot vastasivat vaihtelevasti lähellä olevia porakonekairauksia. Osassa kairauksista ei näkynyt ollenkaan kuopissa havaittua silttikerrosta, ja yhdessä kairauksessa silttikerros oli ennen hiekkakerrosta. Rampin maaleikkauksessa noin paaluvälillä 420–480 havaittiin savikerros pinnassa olevan hiekkakerroksen alla. Savikerrosta ei näkynyt tällä kohdalla kairauksissa.

Rampin maaperäkuvauksessa sanotaan maaperän olevan paalulta 420 alkaen kivistä moreenia ja soraa tai täyttömaita. Työn edetessä tehdyt havainnot vastaavat maaperäkuvausta moreenin osalta. Selkeä ero maaperäkuvausten ja havaintojen välillä on havaittu savi ja siltti, joita ei ole mainittu maaperäkuvauksissa. Rampin maaperä vaihteli huomattavan pienipiirteisesti, mikä selittää erot kairausten ja todetun maalajin välillä.

#### **5.2.5 Yleistä massamäärien vertailusta**

Seurattaessa neljää maaleikkauskohdetta ja kerätessä niistä toteumatietoa havaittiin poikkeamia toteumatietojen ja lähtötietojen välillä. Tehdyt maaperämallit vastasivat paremmin todellisia maalajeja, kuin maaperäkuvauksista tehdyt tulkinnot. Kaikkien kolmen laskentatavan välillä oli kuitenkin selkeitä eroja maalajien määrissä. Taulukkoon 15 on kerätty merkittävimmät havaitut poikkeamat, sekä niiden syyt. Lisäksi taulukkoon on merkitty kohteesta kairausten ja maaperäkuvausten perusteella saatavilla olleet tiedot.

**Taulukko 15. Merkittävimmät poikkeamat toteumatiedon ja lähtötietojen välillä maalajeissa ja määrissä.**

Poikkeama	Kohde	Syy	Kairaukset	Maaperäkuvaus
Enemmän savea	Länsimäentie PL 920-1040	Savea on havaittu hiekka-alueen keskellä.	Savikerros näkyi puristinheijarikairauksessa, ei porakonekairauksissa. Kyseisestä kerroksesta ei ole otettu näytettä.	Maaperäkuvauksessa ei ole kuvattu savikerrosta.
Enemmän savea	Länsimäentie PL1200 - 1260	Hiekka ja moreenialue muuttui saveksi ennakoitua aiemmin.	Savi näkyi painokairauksessa, mutta ei porakonekairauksissa.	Maaperäkuvauksessa savialue oli vasta myöhemmillä paaluluvuilla.
Enemmän moreenia	Ramppi E52R1 PL420- 520	Hiekkaa ja moreenia esiintyy pienipiirteisesti. (Vaikeaa ottaa toteumaa kiinni.)	Kairauksissa näkyy hiekkaa ja moreenia kairauksesta riippuen.	Maaperäkuvauksen mukaan massat ovat pääosin hiekkaa.
Enemmän täytemaata	Rampit E1R1 ja E1R2	Täytemaakerros on tulkittu laskentavaiheessa hiekaksi (tai moreeniksi).	Täytemaakerros näkyy kairauksissa. Näytepis-teissä on havaittu hu-muksista hiekkaa ja täytemaata.	Maaperäkuvausten mukaan massat ovat täytemaata, hiekkaa ja soraa (tai moreenia toisessa kohteessa).
Enemmän silttiä ja savea	Ramppi E52R1 PL420- 520	Laskentavaiheessa moreeniksi oletettu alue oli pääosin silttiä ja savea.	Kairauksissa näkyy silttiä, mutta ei savea kyseisellä paaluvälillä.	Maaperäkuvauksen mukaan maaperä on kivistä moreenia soraa, täyttömaita.



### 5.3 Näytepisteiden vertailu

Tutkimuksen osana tehtiin vertailu todettujen maakerrosten kerrospaksuuksien ja kairauksista saatujen kerrospaksuuksien välillä. Vertailussa selvitettiin kuinka hyvin maala-  
jit vastaavat lähellä olevia kairauksia. Toteumatieto maalajien kerrospaksuuksista kerä-  
ttiin ennen varsinaisia maaleikkaustöitä tehdyistä koekuopista ja maaleikkauksen aikana  
tehdyistä havainnoista. Koekuopat ja havaintopisteet ovat noin 0–20 m etäisyydellä kai-  
rauspisteistä, joihin niitä verrattiin. Vertailu tehtiin kolmesta urakan suuresta maaleik-  
kauksesta.

Taulukoissa 16 - 18 on esitetty Länsimäentien Y1, Länsimäen eritasoliittymän E1R1 ram-  
pin ja Länsimäentien eritasoliittymän E52R1 rampin maaleikkauksista tehty vertailu. To-  
teumasarakkeissa on esitetty maalajeittain taulukon mukaisella paalulla olevan maaker-  
roksen paksuus. Kairaussarakkeissa on esitetty toteumapistettä lähinnä olevan kairauksen  
perusteella tulkittu vastaavan maalajin kerrospaksuus. Erotussarakkeessa on todetun ja  
kairauksen perusteella arvioidun kerrospaksuuden erotus. Vertailun tuloksia tarkastelta-  
essa on huomioitava, että koekuopat ja näytepisteet eivät sijaitse täsmälleen samalla pai-  
kalla kuin kairaukset, vaan noin 0–20 m etäisyydellä.

Länsimäentien maaleikkauksesta tehty vertailu on esitetty taulukossa 16. Suurimmat erot  
Länsimäentien hiekan pisteiden vertailussa ovat alueilla, joissa hiekkaleikkaus muuttuu  
moreenileikkaukseksi. Moreenin kerrospaksuuksissa suurimmat erot ovat alueilla, joissa  
hiekkaleikkaus muuttuu moreeni leikkaukseksi ja alueella, jossa moreenileikkaus muut-  
tuu savileikkaukseksi, jonka päällä on kerros hiekkaa. Vastaavasti suurimmat erot saven  
kerrospaksuuksissa ovat alueella, jossa moreenileikkaus muuttuu leikkaukseksi, jossa on  
päällä hiekkaa ja alla savea. Lisäksi saven kerrospaksuudessa on eroa alueella, jossa hiek-  
kakerroksen välissä todettiin savikerros. Tämä alue voitiin kuitenkin ottaa huomioon ver-  
tailussa toteumatiedon epätarkkuuden vuoksi vain yhden pisteen osalta.

**Taulukko 16 Y1 toteumapisteiden vertailu kairauksiin**

Paalu	Kairaus	Hiekka [m]			Moreeni [m]			Siltti [m]			Savi [m]		
		Toteuma	Kairaus	Erotus	Toteuma	Kairaus	Erotus	Toteuma	Kairaus	Erotus	Toteuma	Kairaus	Erotus
867	7103	0,5	0,8	-0,3	0	0,9	-0,9	0	0	0	0	0	0
903	7104	0,5	2,82	-2,32	3	0,68	2,32	0	0	0	0	0	0
950	7106	3	3,2	-0,2	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,2
1001	7108	4,5	4,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1020	1110	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1060	112	1,3	1,2	0,1	1,3	1	0,3	0	0	0	0	0	0
1090	2039	0	2	-2	2	0	2	0	0	0	0	0	0
1120	2040	0	0	0	2,5	2,5	0	0	0	0	0	0	0
1160	2041	0	0	0	1,7	1,7	0	0	0	0	0	0	0
1190	2042	0,5	0,4	0,1		1,2	-1,2	0	0	0	1,1	0	1,1
1200	2043	0,7	0,9	-0,2	0	0	0	0	0	0	1,6	1,4	0,2
1230	2053	1,1	0,55	0,55	0	0	0	0	0	0	1,5	1,5	0
1240	2053	0,9	0,55	0,35	0	0	0	0	0	0	1,5	1,5	0

Taulukossa 17 on esitetty rampin E52R1 maaleikkauksesta tehty vertailu. Rampin toteumatiedon ja kairauspisteiden vertailussa on poikkeamia sekä hiekan, silti että saven osalta. Poikkeamia selittää kohteen maaperän maalajien vaihtelevuus pienipiirteisesti sekä se, että havaintopisteet eivät ole täsmälleen kairausten kohdalla.

**Taulukko 17 E52R1 toteumapisteiden vertailu kairauksiin**

Paalu	Kairaus	Hiekka [m]			Moreeni [m]			Siltti [m]			Savi [m]		
		Toteuma	Kairaus	Erotus	Toteuma	Kairaus	Erotus	Toteuma	Kairaus	Erotus	Toteuma	Kairaus	Erotus
430	7152	0,2	0	0,2	1	1	0	1,8	0,6	1,20	0	0	0
450	7152	0,5	0	0,5	1	1	0	1,8	0,6	1,20	0	0	0
450	7153	0,3	0	0,3	0	0	0	0	1,5	-1,50	1,2	0	1,2
470	7155	1,3	0,4	0,9	1	1	0	0,7	1	-0,30	0	0	0
480	7158	2,3	0	2,3	0	0	0	0	3,2	-3,20	0,9	0	0,9
485	7157	0,9	1	-0,1	1	2	-1	0,9	0	0,90	0	0	0
495	7159	0,8	1,2	-0,4	2,1	1	1,1	0	0	0,00	0	0	0

Rampin E1R1 toteumatiedon ja kairauspisteiden välinen vertailu on toteutettu vertaamalla kairauspisteistä saatua lähtötietoa täsmälleen vastaaviin kohtiin kaivetuista koe-kuopista saatuun tietoon. Toteumatiedon ja kairaustiedon välillä on huomattava ero täytemaakerroksen paksuudessa. Vertailu on esitetty taulukossa 18.

**Taulukko 18 E1R1 toteumapisteiden vertailu kairauksiin**

Paalu	Kairaus	Hiekka [m]			Moreeni [m]			Täytemaa [m]		
		Toteuma	Kairaus	Erotus	Toteuma	Kairaus	Erotus	Toteuma	Kairaus	Erotus
333	7193	0,2	0,2	0	0	0	0	1,2	1,2	0
370	7197	0	0	0	0	0	0	3	2	1
410	7200	0	0	0	0	0	0	4,5	3,40	1,1
450	7203	0	0	0	0	0	0	5,5	3,5	2
495	7205	0	0	0	0,2	0,6	-0,4	0	0	0

Taulukossa 19 on koottu otoskoko, erotus sarakkeen keskiarvo ja keskihajonta kohteista, joissa tehtiin toteumapisteiden vertailu kairauspisteisiin. Erotuksen keskiarvo kertoo kuinka suuri ero keskimäärin on metreissä kyseisessä kohteessa toteumapisteiden ja kairauspisteiden välillä. Keskihajonta kuvaa sitä kuinka kaukana yksittäiset toteuman ja kairausten erotukset ovat keskimäärin erotusten keskiarvosta. Vertailussa toteumapisteiden ja kairausten erotusten suurimmat keskiarvot olivat rampin E1R1 täytemaakerroksen paksuudessa, rampin E52R1 hiekan paksuudessa ja rampin Y1 hiekan paksuudessa. Suurin keskihajonta oli rampin E52R1 silttikerroksen paksuudessa, ja Y1 moreenikerroksen paksuudessa.

Liitteessä 8–10 on esitetty histogrammit maalajeittain toteumatiedon ja kairaustiedon erotuksista. Histogrammien luomiseen ja keskiarvon ja keskihajonnan laskemiseen käytettiin IBM SPSS Statistics ohjelmaa.

**Taulukko 19 Maalajikerrosten paksuuksien toteumatiedon kairaustiedon erotusten keskiarvo ja keskihajonta kohteittain.**

Maalaji	Kohde	Otoskoko	Keskiarvo	Keskihajonta
Hiekkka	Y1	7	-0,3015	0,8571
Hiekkka	E52R1	7	0,529	0,8845
Moreeni	Y1	13	0,1938	0,96755
Moreeni	E52R1	7	0,014	0,6067
Savi	Y1	13	0,1154	0,30509
Savi	E52R1	7	0,3	0,5196
Siltti	E52R1	7	-0,243	1,6257
Täyttö	E1R1	5	0,82	0,8438

Pistekohtainen vertailu, jonka aineistona käytetään koekuoppia, ei ole urakoitsijan kannalta jatkossa järkevä menetelmä maalajivaihteluiden selvittämiseen työmaalla. Urakassa helpommin hyödynnettävää tietoa maalajien vaihtelusta saatiin havaintojen ja massamäärien vertailun perusteella. Vaikka varsinaisesta vertailuanalyysistä ei ollut merkittävää hyötyä työmaalle, saatiin kaivetuista koekuopista kuitenkin tärkeää tietoa maaperästä töiden suunnittelua varten.

Toteumapisteiden ja kairausten välisten vertailuiden tuloksien luotettavuutta heikentää analyyseissä käytetyt pienet otoskoot. Otoskoot ovat tässä työssä pieniä, sillä koekuoppien kaivamista huomattavasti tiheämpään ei nähty järkevänä. Kuoppien tekemiseen kohdistuvat kustannukset olisivat nousseet ja työaika olisi ollut pois koneen varsinaisesta työajasta. Tieteelliseltä näkökannalta laajemman aineiston kerääminen maaperän vaihteiluista voisi olla kiinnostavaa. Tällöin aineistosta voitaisiin tehdä analyysejä myös pisteiden välisten etäisyyksien ja kairaustyyppien suhteen. Nyt kerättyä aineistoa ei ollut näihin tarkasteluihin riittävästi.

Analyyysiä tarkasteltaessa on muistettava, että maaperä on aina hyvin epähomogeenista ja maalajien esiintyminen on kohdekohtaista. Käytännössä analyyysin tulokset kuvaavat vain kyseistä kohdetta. Tuloksien ja erityisesti tehtyjen havaintojen perusteella voidaan kuitenkin oppia tunnistamaan kohteita, joissa maaperä vaihtelee pienipiirteisesti ja kohteita, joissa on mahdollisuus sille, että todettu maalaji ei vastaa kairauksin perusteella arvioitua maalajia. Näihin kohteisiin kannattaa kiinnittää erityisesti huomiota töiden edetessä, sillä näihin kohteisiin sisältyy keskimääräistä suurempi maalajiriski.

## 5.4 Geologinen analyysi

Tutkimuskohteena oleva hanke on pääosin olemassa olevan kohteen parantamista. Tästä syystä kohteessa ei ole kuin yksi alue, jossa rakennettava tielinjaus kulkee luonnollisessa maastossa. Länsimäentien jatke Y1 kulkee luonnontilaisen maaston läpi nykyiseltä Länsimäentieltä Kehä III:lle. Kuvassa 25 on esitetty tielinjaus maastokartalla. Leikattaessa Y1 linjausta tehtiin havaintoja kohteen geologisista muodostumista. Alueella havaittiin pinta- ja pohjamoreenia, savikko ja hiekkaa, joka tulkittiin rantakerrostumaksi.

Havaituissa maaperän muodostumissa kiinnitettiin huomiota erityisesti maalajien kelpoisuuteen ja vaihtelevuuteen muodostuman sisällä. Eniten eroja kairausten perusteella arvioitujen maalajien ja toteutuneiden maalajien välillä oli alueilla joilla geologiset muodostumat vaihtuivat. Näillä alueilla maaperän maalajit vaihtelivat pienipiirteisesti. Rantakerrostumaksi tulkitun hiekka-alueen rakenne vaihteli jonkin verran sillä alueen keskellä oli savikerros. Pinta- ja pohjamoreenialueilla moreenin tarkka maalaji ja kivisyys vaihtelivat jonkin verran ja lisäksi alueella oli välillä hiekkakerros moreenin pinnalla. Havaitun savikon kerrosrakenne oli selkeä. Taulukossa 20 on esitetty tielinjausta leikattaessa havaitut geologiset maaperän rakenteet, maalajit, muodostuman tutkimiseen soveltuvat kairausmenetelmät, maalajin vaihtelevuus, ja maalajin soveltuvuus rakenteisiin kelpoisuusluokituksen mukaan.



Kuva 25. Länsimäentien uusi linjaus ja maastokartta (Pikakartta.fi, A-insinöörit 2013d)

Taulukko 20 Länsimäentien geologia. (1= maan kerrosrakenne on selkeä, 2= Maan kerrosrakenne vaihtelee jonkin verran, 3 = Maakerrokset vaihtelevat pienipiirteisesti.)

Geotekninen maalaji	Geologinen muodostuma	kairautapa	vaihtelevuus	soveltuvuus
Hiekka	Rantakerrostuma	HP, Pa, Ko	2	SH1-2
Savi	Savikko	CPTU, CPT, Pa, Ko	1	U
Moreeni	Pintamoreeni	He, HP, Ko	2	SH2-4
	Pohjamoreeni	He, HP, Ko	2	SH2-4, (U)
Hk/Si/Sa/Mr	Muodostumien rajat		3	SH1-4, U

## **5.5 Pohjatutkimusten riittävyys, maalajien luokittelu**

### **5.5.1 Pohjatutkimusten määrä**

Työssä tehtyjen haastatteluiden ja havaintojen perusteella pohjatutkimusten ohjelmoinnissa keskitytään tällä hetkellä pääosin pohjarakenteiden suunnittelun vaatimuksiin. Urakoitsijan näkökannalta pohjatutkimuksia ohjelmoitaessa tulee lisäksi kiinnittää huomiota entistä enemmän siihen, että pohjatutkimusten perusteella voidaan määrittää maalajien rajapinnat, maalajit ja sitä kautta myös maalajien määrät.

Pohjarakenteiden suunnittelua varten pehmeikköalueille tehdään usein enemmän pohjatutkimuksia kuin karkearakeisten- ja moreenimaalajien alueilla. Pehmeikköiltä on siten usein tarkempaa tietoa maalajeista. Pehmeikköiltä saatava tieto on tärkeää, jotta voidaan tuottaa paikkansa pitäviä suunnitelmia ja laskea pehmeikköjen maalajimäärät. Pehmeikköalueiden laajuudesta saatava tieto on urakoitsijalle tärkeää läjityskustannuksia laskettaessa. Urakoitsija tarvitsee kuitenkin lisäksi karkearakeisista- ja moreenimaista tietoa maiden käyttökohteiden ja urakan massatalouden suunnittelua varten.

Maamassojen kelpoisuuden ja maalajien selvittämiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota suurten leikkausten pohjatutkimuksia suunniteltaessa, sillä näissä leikkauksissa myös maansiirto- ja läjityskustannukset ovat suuria. Maalajin varmistamiseksi on leikkauksista otettava näytteitä niin, että niiden perusteella voidaan muodostaa edustava kokonaiskuva leikkauksen maalajeista. Esimerkiksi kohteessa, jossa on täytemaata, on otettava useampia näytteitä, jotta saadaan kokonaiskuva täytemaan laadusta. Lisäksi on kiinnitettävä huomiota pohjatutkimuksien sijoitteluun. Pohjatutkimus- ja näytepisteitä on järkevää sijoittaa suunnitellun leikkauksen syvimpään kohtaan esimerkiksi keskilinjalle, josta muodostuvat leikkauksen suurimmat massamäärät.

Pohjatutkimuksia tulee tehdä niin paljon ja niiden tulee olla laadultaan sellaisia, että niiden perusteella voidaan riittävän luotettavasti luokitella maaperän maalajit. Esimerkiksi porakonekairaus ei ole riittävä maalajien määrittämiseen. Porakonekairausta käytettäessä on lisäksi tehtävä tarkempaa tietoa kerääviä kairauksia kuten puristin-heijarikairauksia, joihin porakonekairausten tuloksia voidaan verrata. Urakoitsijan näkökulmasta kohteissa, joissa kairauksia on tehty noin 20 m välein, kairausten määrä tuntui sopivalta. Häiriintyneitä näytteitä tulisi kuitenkin ottaa tiheämmin kuin esimerkiksi Y1 leikkauksessa, jossa paalulta 960 ja 1100 otettujen näytteiden välinen etäisyys oli noin 140 m. Lisäksi suuremman osan kairauksista olisi hyvä olla tarkempaa tietoa kerääviä kairauksia, kuten puristin-heijarikairauksia, porakonekairausten sijaan.

Pohjatutkimuksien määrällä ja laadulla on vaikutuksia urakan kustannuksiin ja hallintaan myös toteutusvaiheessa. Maaperän maalajitietojen ollessa epätarkkoja urakoitsija tekee riskivarauksen maalajin muuttumisen varalta tarjoushintaan, mikä nostaa kustannuksia. Toisaalta, jos työn aikana selviää puutteellisista pohjatutkimuksista johtuvia maalajin laadun muutoksia tai muutokset aiheuttavat suunnitelmamuutoksia, saattaa niistä aiheutua lisäkustannuksia urakoitsijalle ja tilaajalle.

### **5.5.2 Maalajien luokittelu**

Työn aikana mm. haastatteluilla kerätyn tiedon perusteella on tällä hetkellä yleistä, että maamassoja ei ole luokiteltu urakka-asiakirjoissa maalajeittain tai kelpoisuusluokittain.

Maamassojen luokittelu suunnitteluvaiheessa antaisi kuitenkin urakoitsijalle paremmat edellytykset tehdä realistinen kustannusarvio urakasta laskentavaiheessa ja pienentäisi maalajien määräriskiä myös toteutusvaiheessa. Lisäksi maalajiriskin pienentyessä urakan ympäristövaikutukset tiedettäisiin tarkemmin etukäteen ja maalajimääräerojen aiheuttamat aikatauluvaikutukset poistuisivat.

Maalajien luokittelu voidaan käytännössä toteuttaa joko Geoluokituksen maalajien mukaan tai InfraRYL kelpoisuusluokkien mukaan. Hyödyllinen luokittelun tarkkuus määräytyy sen perusteella millaisia käyttökohteita työmaalla on ja mikä on maalajien käyttökelpoisuus erityyppisissä kohteissa. Luvussa 5.1.2. käsiteltiin toteumatiedon keräystarkkuutta ja geo- ja kelpoisuusluokituksen suhdetta toisiinsa. Luvussa todettiin, että käyttökelpoisuus voidaan jaotella karkeasti routimattomiin täyttöihin kelpaaviin maihin, pengertäyttöihin kelpaaviin maihin, sekä maastomuotoiluihin ja läjitykseen kelpaaviin maihin. Maalajit on järkevää myös luokitella tämän luokituksen mukana, jolloin luokat olisivat SH1, SH2–4 ja U maat. Jos routimatonta maata ei haluta erottaa tarkasti, maat voidaan luokitella myös SH1–2, SH2–4 ja U maihin. Tällöin ensimmäinen luokka sisältäisi pääosin hiekkoja, toinen moreeneja ja U luokka silttejä ja savia.

Ongelmana luokituksessa ovat luvussa 5.1.2. käsiteltyt maalajien määrityksen tarkkuuden ja kelpoisuusluokkien väliset ristiriidat. Ristiriitana kelpoisuusluokkien ja maalajin määritystarkkuuden välillä on se, että hiekka voi hienoainespitoisuudesta riippuen kuulua H1–H3 luokkiin ja moreeneita voi esiintyä luokissa SH1–4 ja U1. Maalajien luokittelijan on tällöin käytettävä omaa arviointikykyään määrätessään, mihin luokkaan maalaji kuuluu. Lisäksi luokituksen apuna ovat näytteistä rakeisuuden perusteella tehdyt tarkat maalajimääritykset.

Maalajien luokitteluun paras ammattitaito on geoteknisellä suunnittelijalla, joka ohjelmoi pohjatutkimukset ja käsittelee niistä saatua tietoa. Urakoitsijan ammattitaito rajoittuu lähinnä kairajaan tai geoteknisen suunnittelijan tekemien tulkintojen hyödyntämiseen. Maalajien luokittelu on myös urakan suunnittelun kannalta järkevintä tehdä suunnitteluvaiheessa, jolloin urakoitsija voi hyödyntää tietoa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa töiden ja massansiirron suunnittelussa. Erityisesti tulee kiinnittää huomiota siihen, että geoteknikon kairauksista tulkitsema tieto maaperän maalajeista siirtyy urakoitsijalle.

Maaperän maalajikerrosten ja maalajimäärien tarkka arvioiminen ennen kohteen maamassojen leikkaamista on käytännössä mahdotonta. Kairaus ja näytetiedon pohjalta arvioitu maalajin rajapinta on kuitenkin paras arvio todellisesta maalajirajasta. Maalajimääriä esitettäessä on mietittävä miten määriin sisältyvä epävarmuus tulisi huomioida. Epävarmuus voidaan kuvata esimerkiksi urakka-asiakirjoissa % määräisinä rajoina, minkä sisällä arvioidut maalajimäärät ovat.

### 5.5.3 Maaperämallin hyödyntäminen

Jotta maamassat voidaan luokitella maalajeittain, on luokittelun kohteena olevasta maaperästä muodostettava 3D-malli. Malli voi olla suunnittelijan päässä mielikuvana, poikkija pituusleikkauspiirustuksissa hahmotelmana, tai se voidaan rakentaa kairauspisteistä saatavan tiedon perusteella pintamallina, jota kutsutaan maaperämalliksi. Maaperämalli on yksiselitteinen malli, johon on määritelty maalajien rajapinnat. Jos suunnitelma-aineistoon kuuluu maaperämalli, se pienentää urakoitsijan maalajien määräriskiä.

Työn aikana saadun näkemyksen mukaan yleisesti suunnitelmiin mallinnetaan kovan pohjan raja ja lisäksi savikot tietyillä alueilla. Urakoitsijan massankäytön suunnittelun kannalta tärkeää tietoa on saven määrän lisäksi mihin kelpoisuusluokkiin muut maamasat kuuluvat. Maiden luokitteluun voidaan käyttää aiemmissa luvuissa kuvattua luokitusta SH1, SH2–4- ja U1–4 maihin.

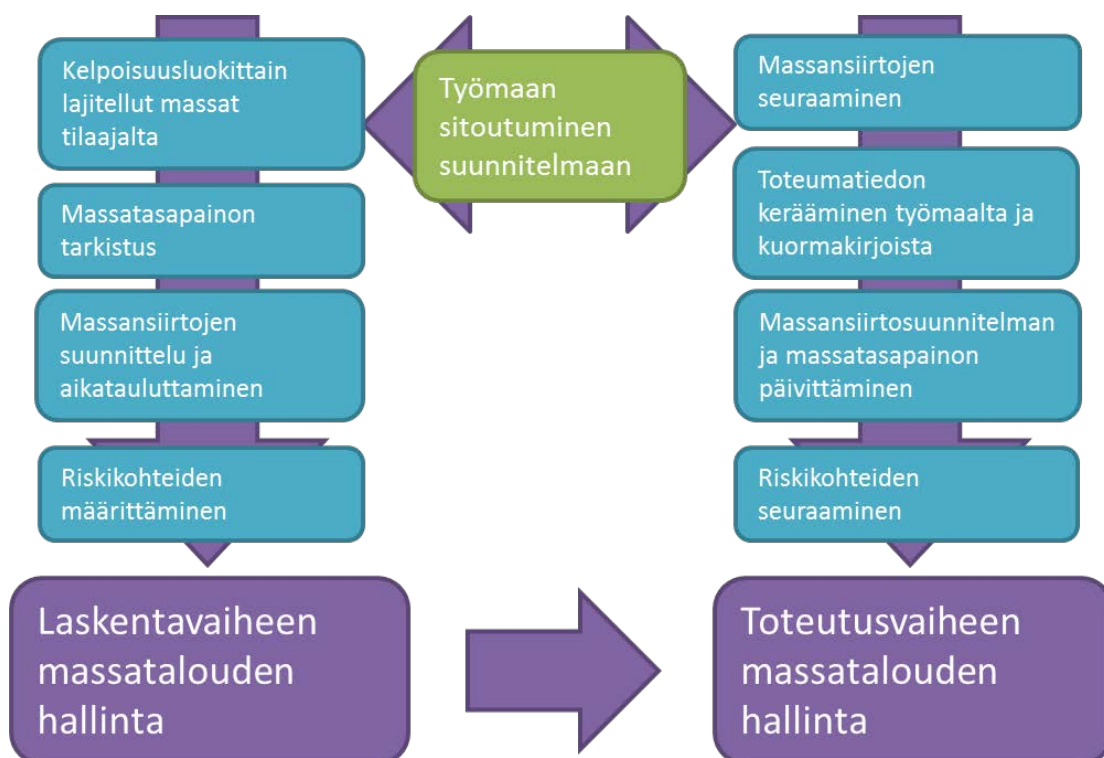
Maalajeja mallinnettaessa on pohdittava tarkkuutta, jolla maalajeja on järkevää mallintaa. Selkeät kohteet, joissa on selkeä hiekka- tai savileikkaus, tai selkeä kerrosrakenne on todennäköisesti helppo mallintaa. Kohteissa, joissa maaperä vaihtelee pienipiirteisesti, on mallintaminen vaikeampaa. Tällöin maalajit voitaisiin mallintaa laajana kokonaisuutena sen kelpoisuusluokan mukaan, mihin suurin osa maista soveltuu. Esimerkiksi, jos moreenin tai siltin seassa on paikoittain hiekkaa, joka kaivettaessa sekoittuisi kuitenkin ympäröivään maa-ainekseen, ei tämän kerroksen mallintaminen maalajien kelpoisuuksin kannalta ole järkevää. Tällaisissa tapauksissa on mallin myöhempää käyttöä varten malliin sisällytettävä tieto siitä, miten mallia on yksinkertaistettu ja, että malli on tehty nimenomaan maalajien luokittelua varten.

Maalajien luokittelun lisäksi geoteknisellä suunnittelijalla on paras ammattitaito myös maalajien mallintamiseen. Urakoitsijalle sopiva muoto maalajimallista olisi katselumalli, josta urakoitsija näkee maalajien laatu- ja määrätiedot sekä maalajien rajapintojen sijainnin. Tällainen maaperämalli toimii urakoitsijan näkökulmasta selkeänä tiedonsiirtomuotona, johon on sisällytetty geoteknikon tulkitsema tieto maaperän rakenteista ja maalajeista.

## 5.6 Massatalouden hallinta geotekniseltä kannalta

### 5.6.1 Yleistä massatalouden hallinnasta

Urakoitsijan massatalouden hallinta jakautuu karkeasti laskentavaiheen massatalouden hallintaan ja toteutusvaiheen massatalouden hallintaan. Laskentavaiheessa massatalouden hallintaan kuuluu massatasapainon ja massansiirtojen suunnittelu saatujen lähtötietojen perusteella. Toteutusvaiheen massatalouden hallintaa ovat massansiirtosuunnitelman seuraaminen, poikkeamiin reagoiminen, ja tarvittaessa suunnitelman päivittäminen. Kuvassa 26 on esitetty massatalouden hallinnan prosessi, joka on kehitetty kirjallisuuden ja työssä tehtyjen havaintojen perusteella. Tässä luvussa on esitetty työn aikana tehtyjä havaintoja ja kirjallisuuden pohjalta tehtyjä päätelmiä massatalouden hallinnasta. Erityisesti on kiinnitetty huomiota maaperän vaikutukseen massatalouden hallinnassa.



Kuva 26. Massatalouden hallinnan prosessi

### 5.6.2 Laskentavaiheen massojen hallinta

Kehä III Vt4–Vt7 -projektin laskentavaiheessa tilaajalta saatiin paalukohtaiset massaluetelot kaikista rampeista. Massaluetteloihin oli eritelty muun muassa pintamaan poisto-, maaleikkaus-, kallioleikkaus- ja pengermäärät. Ennen massansiirtojen suunnittelua maa-massat eriteltiin kelpoisuusluokkiin työselostuksen maaperäkuvausten perusteella. Laskentavaiheessa tarkastettiin urakan massatasapaino vertaamalla leikattavien ja tarvittavien massojen määriä toisiinsa. Lisäksi tehtiin massansiirtosuunnitelma, jonka perusteella laskettiin maansiirtojen kustannukset. Massansiirtosuunnitelmaan määritettiin maamassojen mahdolliset käyttökohteet. Esimerkkejä käyttökohteista ovat massojen hyödyntäminen luiskissa, putkien ympärystätyöissä, penkereissä ja meluvalleissa tai läjitysalueella. Jos massoja ei voida hyödyntää urakan sisällä, on ne ajettava ulkopuolelle esimerkiksi kaatopaikalle tai muille samaan aikaan käynnissä oleville työmaille.



### 5.6.3 Massatasapainon seuraaminen

Toteutusvaiheessa työmaalla massoja pyrittiin siirtämään laskentavaiheen suunnitelman mukaisesti. Työn edetessä alkuperäinen massansiirtosuunnitelma kuitenkin muuttui usean tekijän johdosta. Erityisesti hankkeelle tyypillisten suhteellisen pienien massamäärien siirtokohteita muutettiin hankkeen aikana suunnitellusta.

Urakan massatasapainoa, eli käytettävissä olevien ja tarvittavien massojen suhdetta, seurattiin päivittämällä massatasapaino säännöllisesti. Massatasapainon päivitystä varten työmaalta kerättiin tietoa jäljellä olevista maa- ja kalliroleikkauksista, sekä maa- ja kalliomassojen ja murskeiden tarpeista. Osa tiedoista kerättiin mittamiehen tekemien kartoitusten perusteella ja osa paalukohtaisista massaluetteloista arvioimalla. Työmaalta ulosajettujen massojen määriä seurattiin Haulr-ajoseurannan ja käytettyjen kaatopaikkalapujen perusteella.

Massatasapainon päivityksen perusteella massojen siirtoja ja käyttökohteita suunniteltiin uudestaan. Erityisesti päivityksien yhteydessä kiinnitettiin huomiota siihen, riittääkö kalliomateriaali tarvittaviin murskeisiin, massanvaihdon täyttöihin ja pengertäyttöihin. Samalla huomioitiin mahdollisuudet käyttää maamassoja kalliomassojen sijaan esimerkiksi penkereissä.

Urakan alkuperäiseen massatasapainoon ja massansiirtosuunnitelmaan tuli muutoksia työn aikana mm. ennakoituja suurempien materiaalienekien ja todettujen massojen käytettävyyden vuoksi. Lisäksi kohteet, joissa voitiin hyödyntää urakan sisällä olevia massoja, kasvoivat jonkin verran. Työn edetessä pyrittiin myös jatkuvasti selvittämään vaihtoehtoisia edullisempia käyttökohteita urakan ylijäämämaille. Taulukossa 21 on esitetty huomattavia alkuperäiseen massansiirtosuunnitelmaan tulleet muutoksia.

**Taulukko 21 Massankäytön poikkeamat laskentaan verrattuna. Merkinnot +:positiivinen vaikutus, -:negatiivinen vaikutus hankkeen talouteen.**

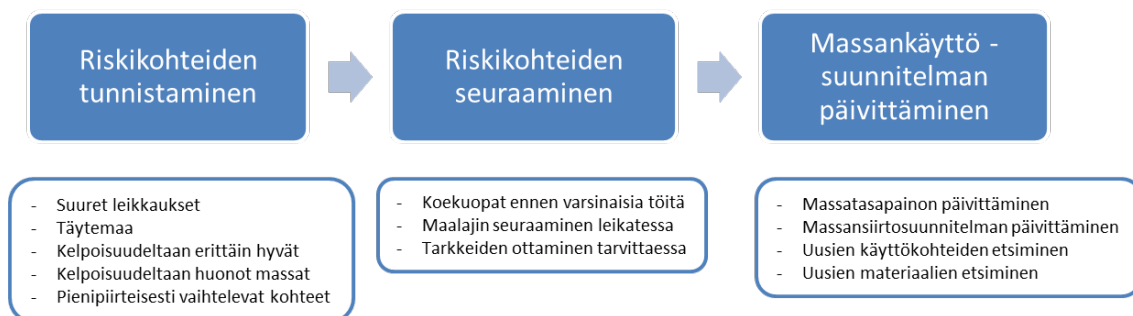
Poikkeama suunnitelmasta	Vaikutus	+/-
Täytemaakerroksen oli oletettu kelpaavan painopenkereeseen, mutta maa olikin hyvin humus- ja savipitoista.	Maa jouduttiin ajamaan meluvalliin. Meluvalliin ei voida siirtää kaikkia muita sinne suunniteltuja massoja.	-
Massanvaihdon täytöksi tarkoitettu moreeni oli liian vesipitoista.	Maa käytettiin urakan sisällä painopenkereessä.	-
Louhetta käytettiin aiottua enemmän massanvaihdon täytöissä.	Urakan kalliomateriaalia ei riittä suunniteltuihin penkereisiin, penkereitä tehtiin aiottua enemmän maa-aineksesta.	+/-
Mursketta kului aiottua enemmän työmaateissa ja stabiloinnin ja paalutuksen työpedeissa.	Kalliomateriaalia jouduttiin murskaamaan laskettua enemmän.	-
Urakassa oli laskettua vähemmän hiekkaa.	Hiekan riittävyttä urakan sisällä oleviin täyttöihin tuli seurata tarkemmin. Hiekkaa ei voitu hyödyntää muissa yrityksen kohteissa suunnitellulla tavalla.	-
Puretuista rakenteista tehtyä betonimursketta hyödynnettiin hankkeen sisällä täyttömateriaalina.	Betonijätteen kaatopaikkamaksut pienivät. Mursketta voitiin hyödyntää luvan mukaisissa kohteissa täyttömateriaalina.	+
Meluvallin tilavuus oli suurempi kuin laskennassa ennakoitu.	Meluvalliin pystyttiin siirtämään laskettua enemmän maamassoja.	+

#### 5.6.4 HAULR-ohjelman käyttäminen

Massansiirtoja seurattiin pääasiassa DynaRoadin Haulr-ohjelmalla. Lisäksi kuljettajat kirjassivat siirrot käsin perinteisiin kuormakirjoihin. Haulr-ohjelmalla, kuljettajien käyttämän seurantalaitteen avulla, seurattiin käytännössä reaaliajassa kuljettajien tekemiä siirtoja. Siirroista tallentui tietokantaan GPS-reittitieto, kuljettajan ja auton tiedot, matkan pituus, lähtö- ja purkuaika, sekä tiedot kuorman sisällöstä, kuten maalaji. Ohjelman käytön aikana tulleita kehitysideoita, esimerkiksi siirtojen raportoinnista, välitettiin DynaRoadille.

#### 5.6.5 Riskikohteiden huomioiminen

Osana urakan massataloudenhallintaa on tarkkailtava maaleikkauksia, joihin sisältyy maalajiriski. Maalajiriskillä tarkoitetaan maalajin muuttumista laskentavaiheessa oletusta ja muutoksen aiheuttamia kustannuksia. Maalajiriskin lisäksi kustannusvaikutuksiltaan suuria riskikohteita ovat kohteet, joissa on pitkät siirtoetäisyydet, suuret täytöt ja leikkaukset, sekä massayli- tai -alijäämäiset kohteet (Mäkinen 2007, s16). Tässä luvussa käsitellään maalajiriskin hallintaa. Kuvassa 27 on esitetty työssä tehtyjen havaintojen ja kirjallisuuden pohjalta kehitetty massatalouden hallintaan liittyvä maalajiriskien hallintaprosessi.



**Kuva 27 Maalajiriskin hallintaprosessi massatalouteen liittyen**

Maalajiriskin hallinnan ensimmäinen vaihe on tunnistaa laskentavaiheessa riskikohteet suunnitelmista käytettävissä olevan pohjatutkimustiedon ja geologisen tiedon perusteella. Laskentavaiheessa tunnistetut maalajiriskit on huomioitava samalla tavalla kuin urakan muut riskit. Tutkimuskohteesta saadun kokemuksen perusteella kohteita, joihin liittyy maalajiriski, ovat mm.:

- Suuret maaleikkaukset
- Maaleikkaukset, joissa oletetaan olevan kelpoisuusluokaltaan erittäin hyviä maita
- Maaleikkaukset, joissa oletetaan olevan kelpoisuusluokaltaan huonoja maita
- Kohteet, joissa on täytemaata
- Kohteet, joissa tehtyjen pohjatutkimuksien määrä tai laatu ei ole riittävä maalajin ja kelpoisuuden määrittämisen
- Maaperän maalajin suhteen pienipiirteisesti vaihtelevat kohteet

Urakan toteutusvaiheessa seurataan vastaavatko maalajit suunnitelma-asiakirjojen perusteella oletettuja. Ennen varsinaisten maaleikkaustöiden alkua voidaan kaivaa koekuoppia

maaperän todellisen laadun selvittämiseksi. Varsinaisten maaleikkaustöiden aikana on kiinnitettävä huomiota siihen, vastaako leikkauksen maamassojen kelpoisuus suunnitelma-asiakirjoissa esitettyä. Tarvittaessa poikkeamat maalajeissa kartoitetaan, jotta poikkeavat maalajimäärät voidaan laskea ja niihin liittyvistä kustannuksista voidaan sopia tilaajan kanssa.

Koekuopista ja maaleikkauksista tehtyjen havaintojen perusteella päivitetään tarvittaessa massansiirtosuunnitelmaa. Lisäksi tehtyjen maalaji- ja pohjavesihavaintojen perusteella voidaan suunnitella leikkaustöiden työjärjestystä ja kuivatusta. Tarvittaessa, jos massojen laatu poikkeaa suunnitellusta, etsitään uusia käyttökohteita massoille tai uusia massoja käytettäväksi työkohteessa.

### 5.6.6 Maalajimäärien erojen kustannukset

Toteutuneiden maalajimäärien erosta laskentaan verrattuna saattaa aiheutua urakoitsijalle erilaisia kustannuksia kuten kaatopaikkamaksut, ajokustannukset, lisääntyneestä maan ostamisesta ja menetetyistä myyntituloista aiheutuvat kustannukset. Lisääntyneet kaatopaikkamaksut aiheutuvat lisääntyneestä kaatopaikalle ajettavasta maan määrästä tai maan ennakoitua huonommasta laadusta, jolloin kaatopaikka veloittaa maasta suuremman maksun. Ajoista aiheutuu kustannuksia, jos maata ajetaan ennakoitua kauemmaksi. Jos maan kelpoisuus on ennakoitua huonompaa, saatetaan joutua ostamaan tilalle parempaa maata, josta aiheutuu kustannuksia. Laskentavaiheessa on voitu olettaa, että ylimääräinen hyvälaatuinen maa-aines voidaan myydä tai käyttää hyväksi muilla työmailla, jolloin ennakoitua huonompalaatuinen maa aiheuttaa työmaalle kustannuksia tai myyntitulojen menetyksiä.

Luvussa 5.2. käsiteltiin tutkimuskohteissa havaittuja maalajimäärien eroja laskentaan verrattuna. Y1 leikkauksessa havaittiin 5796 m<sup>3</sup>ctr savea ja E1R2 leikkauksessa täytemaata 18364 m<sup>3</sup>ctr, joiden oli oletettu laskennassa maaperäkuvausten perusteella olevan hiekkaa. Lisäksi E1R1 rampilla oli pohjatutkimuksista tehdyn mallin mukaan 16444 m<sup>3</sup>ctr täytemaata, jonka oli laskennassa oletettu olevan hiekkaa ja moreenia. Taulukossa 22 on esitetty maalajimäärien erojen aiheutumien lisäkustannusten osuus kohteen alkuperäisistä maaleikkaus- ja ajokustannuksista. Taulukon vaihtoehdossa A maat ajetaan suoraan kaatopaikalle. Kustannukset tässä vaihtoehdossa aiheutuvat lisääntyneistä ajokustannuksista ja penkereeseen kelpaamattoman maan kaatopaikkamaksuista. Taulukon vaihtoehdossa B penkereeseen kelpaamaton maa-aines voidaan hyödyntää urakan sisällä esimerkiksi meluvallissa, läjityselueella tai maastomuotoiluissa, mutta kaatopaikalle ajetaan vastaava määrä penkereeseen sopivaa maata. Tällöin kustannukset muodostuvat lisääntyneistä ajokustannuksista ja penkereeseen kelpaavan maan kaatopaikkamaksuista. Lisäksi kustannuksia voi aiheutua siitä, että laskennassa oletettua hiekkamäärää ei riitä työmaan tarpeisiin tai laskennassa oletetulla tavalla yrityksen muille työmailla. Näitä kustannuksia ei käsitellä tarkemmin tässä työssä.

**Taulukko 22. Maalajimäärien erojen aiheuttamien lisäkustannusten osuus kohteen alkuperäisistä maaleikkaus- ja ajokustannuksista. Vaihtoehdot A ja B.**

	m3ktr	Kustannusnousu	
		A	B
Savi Y1	5796	45 %	26 %
Täytemaa E1R2	18364	229 %	133 %
Täytemaa E1R1	16444	209 %	122 %

Laskentavaiheessa oletettujen ja todellisten maalajimäärien erosta aiheutuvat kustannukset ovat huomattava osa kohteen alkuperäisistä maaleikkaus- ja ajokustannuksista. Kustannusten prosenttiosuuteen alkuperäisistä kustannuksista vaikuttaa merkittävästi se, onko alkuperäisiin kustannuksiin sisältynyt kaatopaikkamaksuja ja pitkiä ajomatkoja.

Erot maalajimäärissä johtuvat siitä, että täytemaa ja savikerrokset olivat havaittavissa pohjatutkimuksista, mutta savesta ja täytemaan laadusta ei mainittu maaperäselostuksessa. Lisää tarkkuutta maaperäkuvauksiin saadaan tulkitsemalla kairaukset selkeämmin maaperäkuvauksiin, esittämällä maalajit maaperämallin avulla tai tekemällä lisää pohjatutkimuksia. Urakoitsijalle on tärkeää, että pohjatutkimusten tulokset viestitään selkeästi, jotta maalajeihin liittyvät kustannukset osataan huomioida laskentavaiheessa. Jos tarvitaan lisää pohjatutkimuksia, on järkevää että tilaaja suorittaa ne, eikä jokainen urakoitsija erikseen. Lisäksi laskentavaiheessa ei ole kilpailu-urakoissa todennäköisesti aikaa uusien pohjatutkimuksien tekemiseen. Pohjatutkimukset pitää olla tehtynä ennen rakennusurakatarjouksen jättämistä, jotta maalajit voidaan huomioida tarjouksessa. Tarvittaessa tehtävän uuden kairauksen hinta-arvio on tyypistä riippuen noin 1000–3000 €

### 5.6.7 Kehitysideoita massatalouden hallintaan

Tutkimuskohteen massatalouden hallinnan haasteena oli toteumatiedon kerääminen. Ulosajetuista massoista saatiin riittävän luotettavaa tietoa Haulr-kuormaseurannan perusteella. Työmaan sisäisten siirtojen seuraaminen sen sijaan oli hyvin haastavaa, sillä massan lähteitä ja kohteita oli paljon urakassa. Tästä syystä kuormaseurannan perusteella ei voitu suoraan määrittää mistä leikkauksesta kuorma oli lähtenyt. Käytännössä massatalouden päivityksiin voitiin kerätä toteumatietoa maastosta tilanekartoitusten perusteella. Ongelmana seurannassa oli mm. vierekkäisten leikkausten sekoittuminen toisiinsa. Esimerkiksi Kehä III levennyksen ja siitä erkanevan rampin rajapinta ei ollut selkeästi tiedossa työnjohdolla ja työntekijöillä. Tulevissa kohteissa massansiirron seuraaminen on suunniteltava niin, että seurattavat työkohteet ovat kokonaisuuksia, jotka voi selkeästi erottaa toisistaan. Työkohteet voisi eritellä esimerkiksi päätielinjan paaluluvuittain.

Massatalouden hallintaa olisi hyvä kehittää suunnittelemalla massansiirrot niin, että ne on sidottu aikatauluun. Aikataulutettu massansiirtosuunnitelma ja massansiirron seuranta voidaan toteuttaa esimerkiksi DynaRoad-ohjelmiston avulla. Tällöin urakan aikataulu voidaan suunnitella massansiirtojen suunnittelun yhteydessä. Massansiirtosuunnitelma ja sen sitominen aikatauluun on tehtävä jo laskentavaiheessa ja työnjohdon on sitouduttava alusta alkaen massansiirtosuunnitelman noudattamiseen.

## 6 Johtopäätökset ja yhteenveto

Tutkimuksessa seurattiin Kehä III Lahdenväylä–Porvoonväylä -hankkeen toteutusvaiheessa todettuja maalajeja ja verrattiin niitä lähtötietoihin. Kohteessa huomattiin, että laskentavaiheessa maaperäselostusten perusteella lasketut maalajimäärät poikkesivat maaleikkauksissa todetuista maalajimääristä sekä pohjatutkimusten perusteella tehdyn maaperämallin maalajimääristä. Myös maaperämallin ja todettujen määrien välillä oli eroa.

Urakoitsijalle merkittävimmät erot toteutuneiden maalajien ja lähtötietojen välillä olivat kohteissa, joissa urakoitsija oli tulkinut maaleikkauksen olevan maaperäselostuksen perusteella penkereeseen soveltuvaa hiekka- tai moreenitäytemaata, vaikka maa todellisuudessa olikin heikkolaatuista täytemaata. Lisäksi maalajimäärissä oli eroja kohteissa, joissa maaleikkauksesta löytyi savea hiekka- tai moreenikerroksen keskeltä, ja kohteessa jossa moreenileikkaus muuttui saveksi ennakoitua aiemmalla paaluluvulla. Hiekan määrä oli myös arvioitu laskennassa todellista määrää suuremmaksi. Ero hiekan laskenta-aikaisen ja todetun määrän välillä johtui kohteista, joissa hiekkaleikkaus muuttui ennakoitua aiemmalla paaluluvulla moreeniksi.

Maamassojen vertailutulosten perusteella voitiin todeta, että erityisesti pelkän maaperäkuvausselostuksen perusteella maalajimäärät voidaan arvioida virheellisesti. Maaperäkuvausista voidaan lajitella hankkeen maamassat yleispiirteisesti, mutta tässä hankkeessa kuvauksen perusteella lasketut määrät poikkesivat todellisista määristä merkittävästi. Tutkituissa kohteissa yksittäisen kohteen yksittäisen maalajin laskentavaiheen ja todetun maalajimäärän erotus suhteessa kohteen maaleikkausmassoihin vaihteli välillä 14–82 % ja suhteessa urakan kaikkiin maaleikkausmassoihin välillä 2–7 %. Tutkituissa kohteissa olisi voitu tarkemmalla kairautietojen tulkinnalla vähentää laskentavaiheen ja todettujen maalajimäärien eroja. Kairauksista tulkittavissa oleva tieto maalajeista ei kuitenkaan siirtynyt tarpeeksi selkeässä muodossa urakoitsijalle. Jatkossa tieto voitaisiin siirtää esimerkiksi maaperämallin, lajiteltujen massalueteloiden tai tarkempien maaperäkuvausten muodossa urakoitsijalle.

Työssä tehtiin pistekohtainen vertailu kairauspisteiden ja todettujen maalajikerrosten kerospaksuuksien välillä. Pistekohtainen vertailu ei ollut urakoitsijan kannalta järkevä menetelmä maalajivaihteluiden selvittämiseen työmaalla. Urakassa helpommin hyödynnettävää tietoa maalajien vaihtelusta saatiin havaintojen ja massamäärien vertailun perusteella. Vaikka varsinaisesta vertailuanalyysistä ei ollut merkittävää hyötyä työmaalle, saatiin kaivetuista koekuopista kuitenkin tärkeää tietoa maaperästä töiden suunnittelua varten. Vertailuanalyysin tulokset maalajien vaihtelusta ovat hyödynnettävissä vain kyseisessä kohteessa, sillä maaperä on aina epähomogeeninen ja maalajien esiintyminen kohdekohtaista. Tieteelliseltä näkökannalta olisi kiinnostavaa kerätä laajempi aineisto maaperän vaihteluista. Tällöin aineistosta voitaisiin tehdä analyysyjä myös pisteiden välisten etäisyyksien ja kairautyyppien suhteen. Nyt kerättyä aineistoa ei ollut näihin tarkasteluihin riittävästi.

Kohteen geologiasta tehtyjen havaintojen perusteella maalajien pienipiirteistä vaihtelua oli erityisesti alueilla, joilla geologiset muodostumat vaihtuivat. Lisäksi rantakerrostumaksi tulkittun hiekkakerroksen keskellä oli savikerros. Myös pohja- ja pintamoreenin tarkka moreenimaalaji vaihteli kohteessa. Selkein kerrosrakenne oli savikkoalueella.

Urakan maalajeista kerättiin toteumatietoa mittamiehen kartoitusten ja kaivinkoneenkuljettajan koneohjausjärjestelmällä tekemien kartoitusten perusteella. Työssä havaittiin,

että toteumatiedon kerääminen koneenkuljettajan tallentamien tarkepisteiden avulla onnistui parhaiten kohteissa, joissa on selkeä maaperän kerrosrakenne. Pienipiirteisesti vaihtelevilla alueilla tarkepisteiden kerääminen ei tuntunut konekuskista mielekkäältä. Työssä todettiin, että käytännössä työmaalla voidaan silmämääräisten ja manuaalisten tunnistuskokeiden perusteella erotella hiekka, sora, moreenit, siltti ja savi toisistaan. Toteumatiedon tarkkuus riippuu kuitenkin jonkin verran konekuskin motivaatiosta ja maalajien tuntemuksesta.

Urakoitsijan maamassojen tehokkaan käytön ja töiden suunnittelun lähtökohtana ovat suunnitteluvaiheessa tehdyt määrällisesti ja laadullisesti riittävät pohjatutkimukset. Pohjatutkimusten tulee olla sellaiset, että niiden perusteella voidaan arvioida leikattavien maamassojen määrä ja luokitella maamassat kelpoisuusluokkiin. Erityisen tärkeää on suurten maaleikkausten maalajien tai kelpoisuusluokkien määrittäminen riittävän tarkasti ja tiedon viestiminen eteenpäin urakoitsijalle. Esimerkiksi tutkimuksen kohteena olleessa urakassa olisi ollut hyvä viestiä tarkemmin täytemaata sisältäneiden leikkausten täytemaan määrästä ja laadusta.

Urakoitsijan näkökulmasta hankkeeseen tehtyjen kairauksen määrä oli riittävä. Sopiva kairausväli on noin 20 m kohteissa, joissa maaperällä on selkeä kerrosrakenne. Häiriintyneitä näytteenottopisteitä tulisi kuitenkin olla tiheämmin ja suuremman osan kairauksista tulisi olla tarkempaa tietoa kerääviä erityisesti suurissa maaleikkauksissa, jotta tutkimusten perusteella voidaan määrittää leikkauksen maalajit kattavasti. Esimerkiksi Y1 leikkauksessa urakoitsijan näkökulmasta paalulta 960 ja 1100 otettujen näytteiden välinen etäisyys, noin 140 m, on liian harva.

Pohjatutkimusten määrä ja laatu vaikuttavat urakoitsijan laskentavaiheessa tekemään riskianalyysiin. Jos laskentavaiheessa ei olla varmoja leikkausmassojen laadusta, urakoitsija sisällyttää urakkahintaan riskivarauksen maalajiriskille.

Työn aikana kerätyn tiedon perusteella maamassojen luokittelu urakka-asiakirjoissa maalajeittain tai kelpoisuusluokittain on toistaiseksi harvinaista. Maamassojen luokittelu suunnitteluvaiheessa antaisi kuitenkin urakoitsijalle paremmat edellytykset tehdä realistinen kustannusarvio urakasta laskentavaiheessa ja pienentäisi maalajien määräriskiä myös toteutusvaiheessa. Lisäksi, jos maamassat luokiteltaisiin etukäteen kattavan pohjatutkimusaineiston perusteella, urakan ympäristövaikutukset tiedettäisiin tarkemmin etukäteen ja maalajimääräerojen aiheuttamat aikatauluvaikutukset poistuisivat. Sopiva maamassojen luokitteluperuste olisi InfraRYL:in maamassojen SH ja U kelpoisuusluokitus, sillä nämä luokat kertovat maamassan käyttökelpoisuuden erityyppisissä rakenteissa. Luokittelun sopiva tarkkuus on routimattomat ja lievästi routivat SH 1 ja 2 luokan hiekat ja sorat, penkereeseen kelpaavat SH2-4 luokan maat kuten moreenit ja penkereeseen kelpaamattomat U-luokan maat kuten savet. Tarvittaessa routimattoman maan osuus voidaan arvioida maaperäselostuksessa prosenttiosuutena leikkauksen massoista. Luokittelu vastaa myös melko hyvin sitä tarkkuutta, jolla voidaan työmaaolosuhteissa erottaa eri maalajit toisistaan.

Maamassojen luokittelua varten on muodostettava malli maaperästä. Selkeä muoto esittää maalajien luokittelu olisi esittää tiedot pohjatutkimustiedon perusteella luodussa maaperämallissa. Urakoitsijalle sopiva muoto maaperämallista on katselumalli, josta urakoitsija näkee maalajien laatu- ja määrätiedot sekä maalajien rajapintojen sijainnin. Tällainen maaperämalli pienentää urakoitsijan maalajiriskiä, sillä se toimii selkeänä tiedonsiirto-

muotona, johon on sisällytetty geoteknikon tulkitsema tieto maaperän rakenteista ja maalajeista. Työn aikana syntyneen näkemyksen mukaan suunnitelmiin mallinnetaan tällä hetkellä yleensä kovan pohjan raja ja lisäksi savikot tietyillä alueilla. Urakoitsijan massankäytön suunnittelun kannalta tärkeää tietoa on saven määrän lisäksi tieto siitä mihin kelpoisuusluokkiin muut maamassat kuuluvat.

Maalajeja mallinnettaessa on pohdittava tarkkuutta, jolla maalajeja voidaan mallintaa. Esimerkiksi hyvin pienipiirteisesti vaihtelevassa maastossa maalaji voitaisiin mallintaa sen kelpoisuusluokan mukaan, johon suurin osa maamassasta kuuluu. Tällöin on erityisen tärkeää siirtää tieto siitä, että mallia on yksinkertaistettu ja että malli on tehty nimenomaan maalajien luokittelua varten. Lisäksi on muistettava että maaperämalli perustuu arvioon todellisista maalajirajoista, eikä voi siksi vastata täysin todellisuutta. Arvioitujen maalajirajojen perusteella tehtyyn luokitteluun sisältyvää epävarmuutta voidaan kuvata maaperäselostuksessa esimerkiksi rajoina, joiden sisällä arvioidut maalajimäärät ovat.

Maalajien luokitteluun ja maaperämallin tekemiseen paras ammattitaito on geoteknisellä suunnittelijalla, joka ohjelmoi pohjatutkimukset ja käsittelee niistä saatua tietoa. Urakoitsijan ammattitaito rajoittuu lähinnä kairaajan tai geoteknisen suunnittelijan tekemien tulokintojen hyödyntämiseen. Maalajien luokittelu on myös urakan suunnittelun kannalta järkevintä tehdä suunnitteluvaiheessa, jolloin urakoitsija voi hyödyntää tietoa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa töiden ja massansiirron suunnittelussa.

Tutkimuskohteena olleen Kehä III VT4-VT7 massatalouden hallinnan todettiin olevan haastavaa urakan useiden samanaikaisesti käynnissä olevien suhteellisen pienien työkohteiden vuoksi. Lisäksi se, että eri kohteiden välinen rajapinta ei ollut koko projektin henkilöstölle selvä, tuotti ongelmia massansiirtojen seurannassa. Tulevissa projekteissa on kiinnitettävä huomiota työkohteiden selkeään erotteluun esimerkiksi päätielinjan paaluvuittain. Myös urakan kustannusten seurannan on vastattava tätä erottelua.

Urakan massataloutta hallittiin säännöllisin väliajoin tehtyjen massatasapainon päivitysten avulla. Massatasapainon päivityksissä tarkistettiin urakassa käytettävissä olevien massojen ja urakan sisällä tarvittavien massojen määrät. Lisäksi seurattiin urakasta ulosajettujen massojen määriä, ja verrattiin niitä laskennan massansiirtosuunnitelman määrään. Massatasapainon päivityksiin kerättiin tietoa työmaalla kiertämällä ja paalukohtaisista massaluetteloista arvioimalla, sekä mittaryhmän tekemien mittausten perusteella. Lisäksi ulosajetuista kuormista saatiin tietoa Haulr-ajoseurannan perusteella.

Massatasapainon päivityksissä kiinnitettiin erityisesti huomiota urakan sisällä olevan louheen ja murskeen sekä pengerrykseen kelpaavien maiden riittävyyteen. Alkuperäiseen massankäytön suunnitelmaan verrattuna muutoksia tuli mm. aiottua useampien massanvaihdon täyttöjen tekemisestä louheella maamassan sijaan ja murskeiden suuremmasta menekistä työmaateihin sekä stabiloinnin ja paalutuksen työalustoihin. Louheen käytön lisääntyessä maamassoja hyödynnettiin suunniteltua enemmän pengerrakenteissa.

Urakan laskentavaiheessa on tunnistettava ja toteutusvaiheessa hallittava massatalouden hallintaan liittyviä riskejä. Työssä keskityttiin erityisesti maalajiriskin hallintaan. Työn aikana tunnistettiin Kehä III VT4-VT7 -hankkeesta riskikohteiksi määrältään suuret maaleikkaukset, kohteet joissa on oletettu olevan kelpoisuudeltaan erittäin hyviä tai huonoja maita, täytemaata sisältävät leikkaukset, leikkaukset joissa on pienipiirteisesti vaihteleva maaperä, ja kohteet joissa pohjatutkimuksia ei ole riittävän tiheästi, pohjatutkimuksia ei ole leikkauksen keskikohdalla tai pohjatutkimukset eivät ole laadultaan riittäviä.

Työssä määritettiin maalajiriskin hallinnan prosessi, jossa seurataan tunnistettuja riskikohteita ja niiden maalajeja työn edetessä. Tarvittaessa maalajien muuttuessa oletetusta poikkeavat maalajimäärät kartoitetaan, jotta voidaan seurata laskenta- ja toteutusvaiheen maalajimäärien eroja. Myös massansiirtosuunnitelmaa päivitetään tarvittaessa, jos maamassojen kelpoisuuksien todetaan muuttuvan laskennassa oletetusta. Työn aikana havaittiin laskentavaiheessa arvioitujen ja todettujen maalajimäärien välillä eroja, joista aiheutui huomattavia lisäkustannuksia kohteiden alkuperäisiin maaleikkaus- ja ajokustannuksiin.

Työn tavoitteina oli selvittää kuinka hyvin maalajit voidaan arvioida pohjatutkimusten perusteella sekä selvittää pohjatutkimusten määrällistä ja laadullista riittävyyttä urakoitsijan näkökulmasta Kehä III -hankkeessa. Lisäksi työn tavoitteena oli kehittää maaperätiedon seurantaan perustuva massatalouden hallinnan prosessi. Työn tavoitteet toteutuivat pääosin. Työssä saatiin selville urakassa toteutuneita maalajimäärien eroja pohjatutkimusten perusteella arvioituihin ja maaperäkuvausten perusteella arvioituihin nähden. Urakan kairauspisteiden määrän todettiin olevan urakoitsijan näkökannalta sopiva, mutta häiriintyneitä näytepisteitä tulisi kuitenkin olla tiheämmin ja lisäksi suuremman osan kairauksista tulisi olla tarkempaa tietoa kerääviä. Lisäksi pohjatutkimuksista tulkittavissa olevan maalajitiedon tulisi siirtyä suunnittelijalta urakoitsijalle nykyistä paremmin. Maaperätiedon seurantaan perustuvan massatalouden hallinnan prosessin kehittäminen onnistui työssä osittain. Urakan massatasapainoa seurattiin ja päivitettiin säännöllisesti ja alueelta tunnistettiin tyypillisiä kohteita, joissa on riski sille että todettu maalaji eroaa laskennassa arvioidusta. Maaperätiedon ajantasaisessa keräämisessä ja massansiirtosuunnitelman sitomisessa aikatauluun on kuitenkin vielä kehitettävää.

Työn tutkimuksen tietolähteenä käytettiin YIT Kehä III -hankkeesta kerättyä tietoa todetuista maalajeista. Jatkotutkimusaiheena olisi mielenkiintoista selvittää maalajien vaihteluita laajemman, eri kohteisiin perustuvan aineiston pohjalta. Lisäksi olisi mielenkiintoista selvittää voidaanko geofysikaalisia menetelmiä, joita ei tässä työssä käsitelty, hyödyntää enemmän maalajikerrosten sijaintiedon ja maalajin määrittämisessä ja näytteisiin tai kairauksiin yhdistettynä.



## Lähdeluettelo

A-Insinöörit. 2013a. Hankekohtainen työselostus, Kt 50 (Kehä III) välillä VT4 – VT7. Liikennevirasto.

A-Insinöörit. 2013b. S3A Länsimäen rs KehäIII/Vantaa Rakennussuunnitelmaselostus.

A-Insinöörit. 2013c. Kairaukset, Kehä III Lahdenväylä- Porvoonväylä, Urakkalaskenta-suunnitelmat, Lähtöaineisto.

A-Insinöörit. 2013d. R10-2 Massojen yhteenvetoluettelo, Kehä III Lahdenväylä-Porvoonväylä, Urakkalaskentasuunnitelmat, Määräluettelot.

A-Insinöörit. 2013e. Kantatien 50 (Kehä III) parantaminen välillä Lahdenväylä (V4) - Porvoonväylä (V7), Rakennussuunnitelma Suunnitelmakartta plv 15300-16670 R3-3

Baecher, G.B., Christian, J.T. 2003. Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. John Wiley & Sons, Ltd. 618 s. ISBN 0-471-49833-9

CEN ISO/TS 22476-10:2005. Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 10: Weight sounding test. 6 s.

Dynaroad. 2014. Massojen käytön suunnittelu. Luentokalvot. Infratuotantotalous. Aalto-yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu.

EN ISO 22476-1:2012. Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test. 36 s.

EN ISO 22476-2:2005. Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 2: Dynamic probing. 30 s.

Espoo. 2014. Maanvastaanotto. [Viitattu 20.10.2014].  
Saataavissa: <http://www.espoo.fi/maanvastaanotto>

Geologia.fi. 2014. Maaperä, Harjut ja Salpausselät. [Viitattu 20.10.2014]. Saataavissa: <http://www.geologia.fi/index.php/2011-12-21-12-30-30/2011-12-21-12-39-11/2011-12-21-12-39-51/harjut-ja-salpausselaet>

Geologia.fi. 2014. Maaperä, Savi ja Siltti. [Viitattu 20.10.2014].  
Saataavissa: <http://www.geologia.fi/index.php/2011-12-21-12-30-30/2011-12-21-12-39-11/2011-12-21-12-39-51/savi-ja-siltti>

Geomachine. 2014. GM 50 GT. [Viitattu 20.10.2014].  
Saataavissa: [http://geomachine.fi/GM\\_50\\_GT\\_FI](http://geomachine.fi/GM_50_GT_FI)

GTK. 2014. Helsingin seudun GeoTIEETO palvelu. [Viitattu 1.7.2014].  
Saataavissa: <http://geomaps2.gtk.fi/geotieto/>

Haavisto-Hyvärinen, M., Kutvonen, H. 2007. Maaperäkartan käyttöopas.

[Viitattu 30.10.2014]. Saatavissa:

[http://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/gtk\\_maaperakartan\\_kayttoopas.pdf](http://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/gtk_maaperakartan_kayttoopas.pdf)

Häkkinen, Iiona. 2014. Suunnittelupäällikkö geosuunnittelu. A-Insinöörit Suunnittelu Oy. Bertel Jungin aukio 9, 02600 ESPOO. Haastattelu 9.5.2014.

HSY. 2014. Maa-ainekset. [Viitattu 20.10.2014]. Saatavissa:

[http://www.hsy.fi/jatehuolto/jatteiden\\_lajittelu/rakennusjate/Sivut/Maa-ainekset.aspx](http://www.hsy.fi/jatehuolto/jatteiden_lajittelu/rakennusjate/Sivut/Maa-ainekset.aspx)

InfraBIM. 2014. Inframallintamisen yhteistyöfoorumi. Yleiset inframallivaatimukset 2014 - YIV 2014. [Viitattu 20.10.2014]. Saatavissa: <http://www.infrabim.fi/yiv2014/>

Jaksa, M.B., Goldsworthy, J.S., Fenton, G.A., Kaggwa, W.S., Griffiths, D.V., Kuo, Y.L., Poulos H. G. 2005. Towards reliable and effective site investigation. Geotechnique 55, No. 2, s.109-121. ISSN 0016-8505

Jääskeläinen, R. 2011. Geotekniikan perusteet. Tampere: Tammertekniikka /AMK kustannus Oy. 387 s. ISBN 978-952-5491-50-0

Kemppainen, Janne. 2014. Laskentapäällikkö. YIT Rakennus Oy. Panuntie 11, 00620 Helsinki. Haastattelu 17.7.2014.

Kenley, R., Seppänen, O. 2010. Location – Based Management for Construction Planning, Scheduling and Control. Spon Press. 554 s. ISBN 13: 978-0-415-37050-9

Korhonen, K-H., Gardemeister, R., Tammirinne, M. 1974. Geotekninen maaluokitus Geotekninen laboratorio, tiedonanto 14. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 20 s.

Korhonen, K-H., Gardemeister, R. 1971. Maalajien kaivuluokitus Geotekninen laboratorio, tiedonanto n:o 1. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 112 s.

Lahtinen, Jarmo. 2014. Laskentapäällikkö. YIT Rakennus Oy. Panuntie 11, 00620 Helsinki. Haastattelu 23.4.2014

Leivo, P. 1998. Maa- ja kallioperätietojen tulkinta porakonekairauksen rekisteröintitulokista. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Espoo.

Liikennevirasto. 2013. Hanke-esite. Sujuvaa ja turvallista matkaa, Kehä III parantamisen 2. vaihe. [Viitattu 7.10.2014]. Saatavissa: [http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/hankkeet/kaynnissa/keha3/Hanke\\_esite\\_FI.pdf](http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/hankkeet/kaynnissa/keha3/Hanke_esite_FI.pdf)

Liikennevirasto. 2012a. Pohjatutkimusten hankinnan kehittäminen. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 33/2012. Helsinki: Liikennevirasto. 33 s. ISBN 978-952-255-184

Liikennevirasto. 2012b. Tien geotekninen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 10/2012. Helsinki: Liikennevirasto. 77 s. ISBN 978-952-255-141-2

Liikennevirasto. 2010a. Tien meluesteiden suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 16/2010. Helsinki: Liikennevirasto. 87 s. ISBN 978-952-255-563-2

Liikennevirasto. 2010b. Tiepenkereiden ja –leikkausten suunnittelu, Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Liikenneviraston ohjeita 09/2010. Helsinki: Liikennevirasto. 107 s. ISBN 978-952-255-027-9

Liikennevirasto. 2010c. Tiesuunnittelun kulku. [Viitattu 4.10.2014]. Saatavissa: [http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/hankkeet/strategia/suunnittelun\\_vaiheet/tiesuunnittelun%20kulku\\_esite.pdf](http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/hankkeet/strategia/suunnittelun_vaiheet/tiesuunnittelun%20kulku_esite.pdf)

Lindholm, M., Junnonen, J-M. 2012. Infrahankkeen tuotannonhallinta. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy. 156 s. ISBN 978-952-269-065-4.

Liukas, J., Virtanen, J. 2014. PRE/inframallin vaatimukset ja ohjeet Osa 3.0 Lähtötiedot Versio 1.3 Luonnos. [Viitattu 4.10.2014]. Saatavissa: [http://infrabim.fi/luonnokset/InfraBIM\\_Mallinnusohjeet\\_OSA\\_3\\_Lahtotiedot\\_1\\_3.pdf](http://infrabim.fi/luonnokset/InfraBIM_Mallinnusohjeet_OSA_3_Lahtotiedot_1_3.pdf)

Lojander, M. 2013. Iso-Maaluokituksen soveltamisohje Suomessa. Espoo: Suomen Geoteknillinen Yhdistys ry.

Manninen, A-P. 2009. Väylähankkeen esisuunnitteluvaiheen kustannushallinta. Väitöskirja. Teknillinen korkeakoulu, Rakenne- ja rakennustekniikan laitos. Espoo:173 s. ISBN 978-951-22-9969-0

Markovaara, M. 2014. Maa- ja kallioperämallit yhdyskuntasuunnittelussa ja rakentamisessa – työpaja. 13.3.2014. Muistio. Geologian tutkimuskeskus.

Moselhi O., Alshibani A. 2009. Optimization of Earthmoving Operations in Heavy Civil Engineering Projects. Journal of Construction Engineering and Management, Vol.135, No.10, October 1, 2009. S. 948–954. ASCE, ISSN 0733-9364/2009/10-948-954

Mäkinen, J. 2007. Pääurakoitsijan massatalouden hallinta suunnittelua sisältävissä urakoissa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Espoo.

Parkkari, J. 2011. 3D-tietomalleja hyödyntävän automatisoidun maanrakentamisjärjestelmän kehittäminen. Diplomityö. Oulun yliopisto. Oulu.

Perttula, Tiina. 2014. Tietomallinnuksen kehittämispäällikkö. Liikennevirasto. Opastinsilta 12 A, 00520 Helsinki. Haastattelu 25.6.2014

Rakennustietosäätiö RTS. 2009. INFRA 2006 Rakennusosa- ja hankenimikkeistö Määrittämisohje Versio 2.1. Tampere: Rakennustietosäätiö RTS. 213 s. ISBN 978-951-682-941-1

Rakennustietosäätiö RTS. 2008. InfraRYL 2006 Infrarakenteiden yleiset laatuvaatimukset. Osa 3. Sillat ja rakennustekniset osat. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS. 278 s. ISBN 978-951-682-882-7

Rakennustietosäätiö RTS. 2010. InfraRYL 2010 Infrarakenteiden yleiset laatuvaatimukset. Osa 1. Väylät ja alueet. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS. 555 s. ISBN 978-951-682-958-9

SFS-EN ISO 14688-1. 2003. Geotekninen tutkimus ja koestus. Maan tunnistaminen ja luokitus. Osa 1: Tunnistaminen ja kuvaus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 16 s.

SFS-EN ISO 14688-2. 2005. Geotekninen tutkimus ja koestus. Maan tunnistaminen ja luokitus. Osa 2: Luokituksen perusteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 17 s.

SFS-EN 1997-2 + AC. 2007. Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 2: pohjatutkimus ja koestus. 2.painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 154s.

Suomen Geoteknillinen yhdistys ry SGY. 1980. Kairausopas I, painokairaus, tärykairaus, heirajikairaus. Helsinki: Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. ja Rakentajain kustannus. 11 s. ISBN 951-676-1275

Suomen geoteknillinen yhdistys ry SGY. 1984. Kairausopas III, maanäytteiden ottaminen geoteknillisiä tutkimuksia varten. Espoo: Suomen geoteknillinen yhdistys r.y. 16 s. ISBN 951-676-303-0

Suomen geoteknillinen yhdistys ry SGY. 1986. Kairausopas V, Porakonekairaus. Helsinki: Suomen geoteknillinen yhdistys ry ja Rakentajain kustannus Oy. 14 s. ISBN 951-676-315-4

Suomen geoteknillinen yhdistys ry SGY. 2001. Kairausopas VI, CPTU/Puristinkairaus, Puristin-heijairkairaus. 4.painos. Helsinki: Suomen geoteknillinen yhdistys r.y. 91 s. ISBN 951-98818-0-8

Tiehallinto. 2008. Geotekniset tutkimukset ja mittaukset. Helsinki: Tiehallinto. 68 s. TIEH 2100057-08. ISBN 978-952-221-065-4.

Tiehallinto. 2001. Teiden pohjarakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Tiehallinto. 61 s. TIEH 2100002-01. ISBN 951-726-743-6

Tielaitos. 1998. Geotekniikan informaatiojulkaisuja. Teiden pehmeikkötutkimukset. Tielaitoksen selvityksiä 28/1998. Helsinki: Tielaitos. 90 s. ISBN 951-726-447-X.

Tielaitos. 1995. Geotekniikan informaatiojulkaisuja. Tieleikkausten pohjatutkimukset. Tielaitoksen selvityksiä 79/1995. Helsinki: Tielaitos. 50 s. TIEL 3200354. ISBN 951-726-155-1.

Tielaitos. 1994. Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. Penger- ja kerrosrakenteet. Helsinki: Tielaitos. 62 s. TIEL2212460-94. ISBN 951-47-8747-1

Uotinen, Veli-Matti. 2014. Geoasiantuntija. Liikennevirasto. Liikennevirasto. Opastinsilta 12 A, 00520 Helsinki. Haastattelu 11.7.2014.

Vantaa. 2014. Maanläjitys Vantaalla. [Viitattu 20.10.2014]. Saatavissa: [http://www.vantaa.fi/fi/kadut\\_ja\\_liikenne/katujen\\_suunnittelu\\_ja\\_rakentaminen/\\_katujen\\_ja\\_vesihuollon\\_rakentaminen/tayttomaet](http://www.vantaa.fi/fi/kadut_ja_liikenne/katujen_suunnittelu_ja_rakentaminen/_katujen_ja_vesihuollon_rakentaminen/tayttomaet)

## Liiteluettelo

- Liite 1. Pohjatutkimusten ohjeellinen määrä tiesuunnitelmavaiheessa
- Liite 2. Maalajien tunnistaminen painokairauksen havaintojen perusteella
- Liite 3. InfraRYL 2010 Tien ja pohjamaan kelpoisuusluokat
- Liite 4. InfraRYL Määrämittausohje. Massakertoimet
- Liite 5. Länsimäentien Y1 pohjatutkimukset
- Liite 6. Länsimäen eritasoliittymän ramppien E1R1 ja E1R2 pohjatutkimukset
- Liite 7. Länsimäentien eritasoliittymän rampin E52R1 pohjatutkimukset
- Liite 8. Y1 Histogrammit maalajien toteumatiedon ja kairaustiedon erotuksista
- Liite 9. E52R1 Histogrammit maalajien toteumatiedon ja kairaustiedon erotuksista
- Liite 10. E1R1 Histogrammi täytemaan toteumatiedon ja kairaustiedon erotuksista

## Liite 1. Pohjatutkimusten ohjeellinen määrä tiesuunnitelmapvaiheessa (Tiehallinto 2008, s.46)

Tutkimuksen tarkoitus	Selvitettävä ominaisuus	Tutkimuspisteväli tielinjan pituussuunnassa (1)	Poikkileikkaustutkimus (2)	Tutkimuspisteiden lukumäärä / poikkileikkaus (3)
<b>Pohjaolosuhteet tielinjalla</b>				
<b>Yleistutkimus pohjasuhteiden selvittämiseksi</b>				
Tutkimukset kaikissa olosuhteissa	maakerrokset, kallionpinta	60 (80... 20) m	80 (100... 20) m	1 (...3) kpl
<b>Pohjatutkimusten kohdentaminen</b>				
Tutkimukset kantavalla maalla	Rakenteen mukaiset ominaisuudet	60 (... 20) m	60 (80... 20) m	2 (...4) kpl
Tutkimukset pehmeiköllä	Rakenteen mukaiset ominaisuudet	40 (... 20) m	40 (... 20) m	2 (...4) kpl
Nykyiset penkereet (6)	Penkereen rakenne ja perustamistapa	60 (... 20) m	60 (80... 20) m	2 (...3) kpl
<b>Rakenteiden tutkimukset</b>				
Rakenteen tai rakennusosan raja	rajakohdan selvittäminen (4)	20 (... 10) m	20 (... 10) m	2 (...4) kpl
Rakenteen vaatima tutkimusmenetelmä (5)	rakenteen mukainen geotekninen ominaisuus	40 (60... 10) m	20 (80... 10) m	1 (...3) kpl

(1) Tutkimuspisteväliä tihennetään, kun pohjasuhteet muuttuvat pienipiirteisiksi tai harvennetaan, jos olosuhteet muuttuvat hyvin homogeenisiksi.

(2) Tutkimuspisteväliä tihennetään ja tutkimuspoikkileikkausta levitetään, kun pohjasuhteet tai topografia muuttuu tielinjan poikkisuunnassa.

(3) Tutkimuspisteiden tulee kattaa koko suunniteltava poikkileikkaus.

Lisäksi otetaan huomioon ympäristövaikutusten selvittäminen.

(4) Tutkimuspisteitä voidaan vähentää, jos rajakohta voidaan tarkentaa rakennustyön aikana.

(5) Käytetään luvun 7 mukaista rakenteelle soveltuvaa tutkimusmenetelmää.

Jos yhtä luotettava tulos on johdettavissa esimerkiksi pohjaolosuhteiden tutkimuksesta, ei rakennekohtaista menetelmää tarvitse käyttää

(6) Nykyinen penger tutkitaan, kun sen rakenteella tai perustamistavalla on vaikutusta uuden suunnitelman toteuttamiseen.

**Liite 2. Maalajien tunnistaminen painokairauksen havaintojen perusteella (SGY 1980, Liite3)**

Maalajiryhmät ja maalajit	Kairausvastus (suuruusluokka)	Äänihavainnot	Tuntohavainnot käsin kierrettäessä	Enkoihavainnot
Eloperäiset maalajit - Humusmaa Hm - Turve Tv - Lieju Lj	Humusmaakerros: kairaus- vastuksella ei merkitystä, Turve: vastus usein lähes olematon, kaira tunkentuu usein pelkkien lankojen painolla. Lieju: vastus usein jonkin verran heikompi kuin hie-	Ei hankausääntä	Ei tärinää	Humuskerros yleensä ohut. Turve tunnistetaan silmaavaruksella havainnoilla. Turvekerroksen paksuus tarkistettava kierrekairauksella. Turpeessa kannot yms. voivat suurentaa kairausvastusta. Liejun luotettava erottaminen hienorakeisista maalajeista on pelkillä painokairauksella yleensä mahdotonta ja lieju merkitään tällöin pöytäkirjaan hienorakeiseksi maalajiksi.
Hienorakeiset maalajit - Savi Sa - Siltti Si	Varsinkin pohjavedenpinnan alapuolella kaira tunkentuu yleensä kiertämällä. Kuivakuori savessa ja siltissä pohjavedenpinnan yläpuolella kiertäminen tarpeen.	Ei hankausääntä	Ei tärinää	Nostettaessa tangot ja kärki savisia tai silttisiä. Syvissä kairauksissa voidaan joutua kiertämään lankojen suuren vaippahankauksen vuoksi.
Karkearakeiset maalajit - Hiekka Hk - Sora Sr	Kaira tunkentuu yleensä vain kiertämällä. Sorassa kairausvastus suuri ja usein hyvin vaihteleva johtuen kairan käijen osumisesta kiviin.	Hiekassa sihinsevä, jostkus heikosti nars- kahteleva ääni. Sorassa selvästi narskahteleva, rahi- seva tai kirskahtava ääni.	Hienossa hiekassa ei aiheudu tärinää. Hiekassa ilmenee heikkoa tärinää. Sorassa ilmenee sel- vää melko tasaista tärinää.	Hiekassa pohjavedenpinnan alapuolelle saavuttaessa kairausvastus usein pienenee. Sorassa kairausvastus hyvin vaihteleva. Kivet haittaavat tunkentumista mutta valistuvat sivuun usein lyömällä.
Moreenimaalajit - Sittimoreeni SiMr - Hiekkamoreeni HKMr - Soramoreeni SrMr	Kaira tunkentuu harvoin kiertämällä (yleensä jou-dutaan lyömään) ja pysähtee kivin ja lohkarisiin kairausvastus hyvin suuri.	Epämääräisen säröi- nen ja voimakkuu- deltaan vaihteleva ääni.	Kierrettäessä tuntuu selvää tärinää, jonka voimakkuus kuitenkin vaihtelee.	Kairaus työlästä. Kairaus pysähtyy usein kiviin, jolloin kairauksen jatkaminen lyömälläkin on vaikeata. Jos maalajista ei eroteta onko se karkearakeista maalajia vai moreenia, merkitään se pöytäkirjaan moreeniksi.
Kivi Kallio	Pienehköt kivet saattavat löyhässä kerrostumassa siirtyä sivuun ja kaira tunkentuu lyömältä.	Kalliossa kairaa lyömällä matalissa rerissä syntyvä ääni kirkas ja soiva. Kiven antama ääni ei yltä kirkas ja soiva.		Jos lisäkairaukset päätyvät lähistöllä yleensä suunnilleen samaan syvyyteen, kysymyksessä on yleensä kallio. Jos kairaus päätynt kiveen, päätyvät lisäkairaukset lähistöllä yleensä hyvin erilaisissa syvyyksissä.



## Liite 3. InfraRYL Tien ja pohjamaan kelpoisuusluokat (InfraRYL 2010 Liite T17, s.540)



Liite T17 Tien pohjamaa ja alusrakenne

Liite:T17. Tien pohjamaan ja/tai alusrakenteen kelpoisuusluokat ja mitoitusominaisuudet (t ja E) kelpoisuusluokittain kuivissa ja märissä olosuhteissa tierakenteissa.

Kelpoisuusluokka	Läpäisy-% pesuseulonnessa		Routaturpoamat, %		E-moduuli, MPa		Informatiivisia tietoja		
	0,063 mm:n seula	2 mm:n seula	Kuiva	Märkä	Kuiva	Märkä	Geomaa-lajiluokka	Routivuus	Mahdollinen käyttökohde
S1	alle 7	alle 70	0	0	100	100	Sr, srHk (SrMr, srHkMr)	routimaton	jakava kerros, vesistö- ja suopenger
S2 1)	7...15	alle 70	0	3	70	50	SrMr, srHkMr	lievästi routiva	penger, stabiloidut rakennekerrokset, vesistö- ja suopenger
S3	16...30	alle 70	3	6	50	35	SrMr, srHkMr	routiva	penger kuivana
S4	31...50	alle 70	6	12	35	20	siSrMr, sisrHkMr	routiva	penger kuivana
H1	alle 7	yli 70	0	0	70	70	Hk, (HkMr)	routimaton	suodatinkerros, vesistö- ja suopenger
H2 2)	7...15	yli 70	3	3	50	50	Hk, HkMr	lievästi routiva	suodatinkerros, vesistö- ja suopenger
H3	16...30	yli 70	6	12	35	20	Hk, HkMr	routiva	penger kuivana
H4	31...50	yli 70	6	12	35	20	siHk, siHkMr	routiva	penger kuivana
U1	yli 50		12	16	20	20	Si, SiMr, kerrall. Sa/Si 3)	erittäin routiva	maastonmuotoilut, läjitys
U2	yli 50			6 4)		35	jäykkä Sa 5)	routiva	
U3	yli 50			6 4)		10	pehmeä Sa 5)	routiva	
U4				6		10	Lj	routiva	

**Vaatus** 1) Kuuluu luokkaan S1, jos läpäisyprosentti on 0,02 mm:n kohdalla on alle 3.

<sup>2)</sup> Kelpoisuusluokan H2 hiekka, joka täyttää suodatinkerroksen laatuvaatimukset, ja näytteet tutkitaan *luvun 21310 Sitomattomat kantavat kerrokset* mukaisesti: E = 70 MPa, t = 0 %, vaikka muuten E olisi pienempi ja t olisi suurempi.

<sup>3)</sup> Kerrallinen savi/siltti (Sa/Si) on maata, jossa saven joukossa on ainakin paikoin silttikerroksia tai sitäkin karkeampia vettä johtavia kerroksia.

<sup>4)</sup> Saven paikallinen routaturpoama voidaan määrittää myös takaisinlaskennalla lähistön olemassa olevan tien routanousuhavainnoista.

<sup>5)</sup> Savi (Sa) on jäykkä, kun siipikairalla määritetty leikkauslujuus on vähintään 40 kPa, ja pehmeä, kun leikkauslujuus on alle 40 kPa.

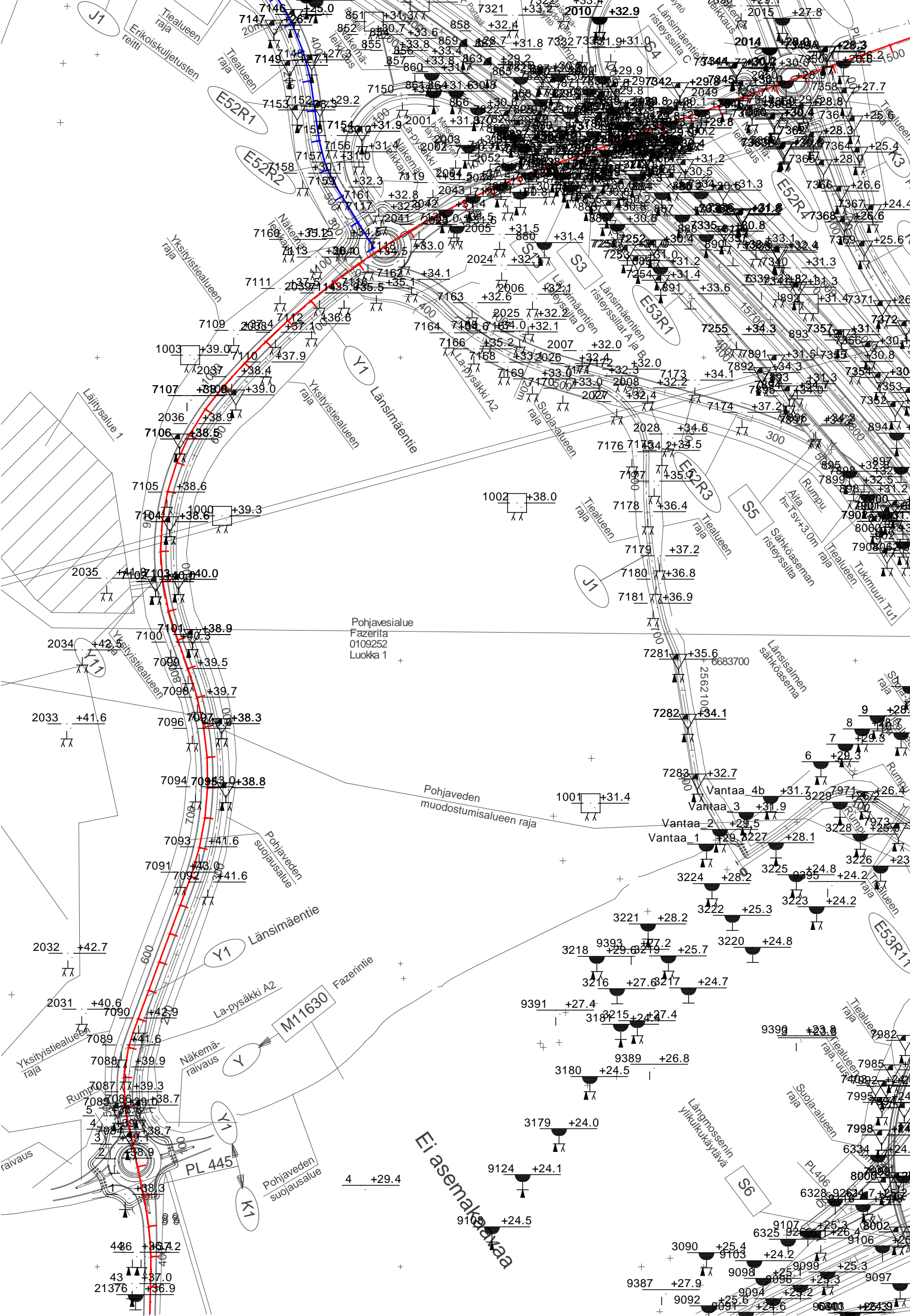


## Liite 4. INFRA 2006 määramittausohje massakertoimet (INFRA 2006 Liite 1, s.212)

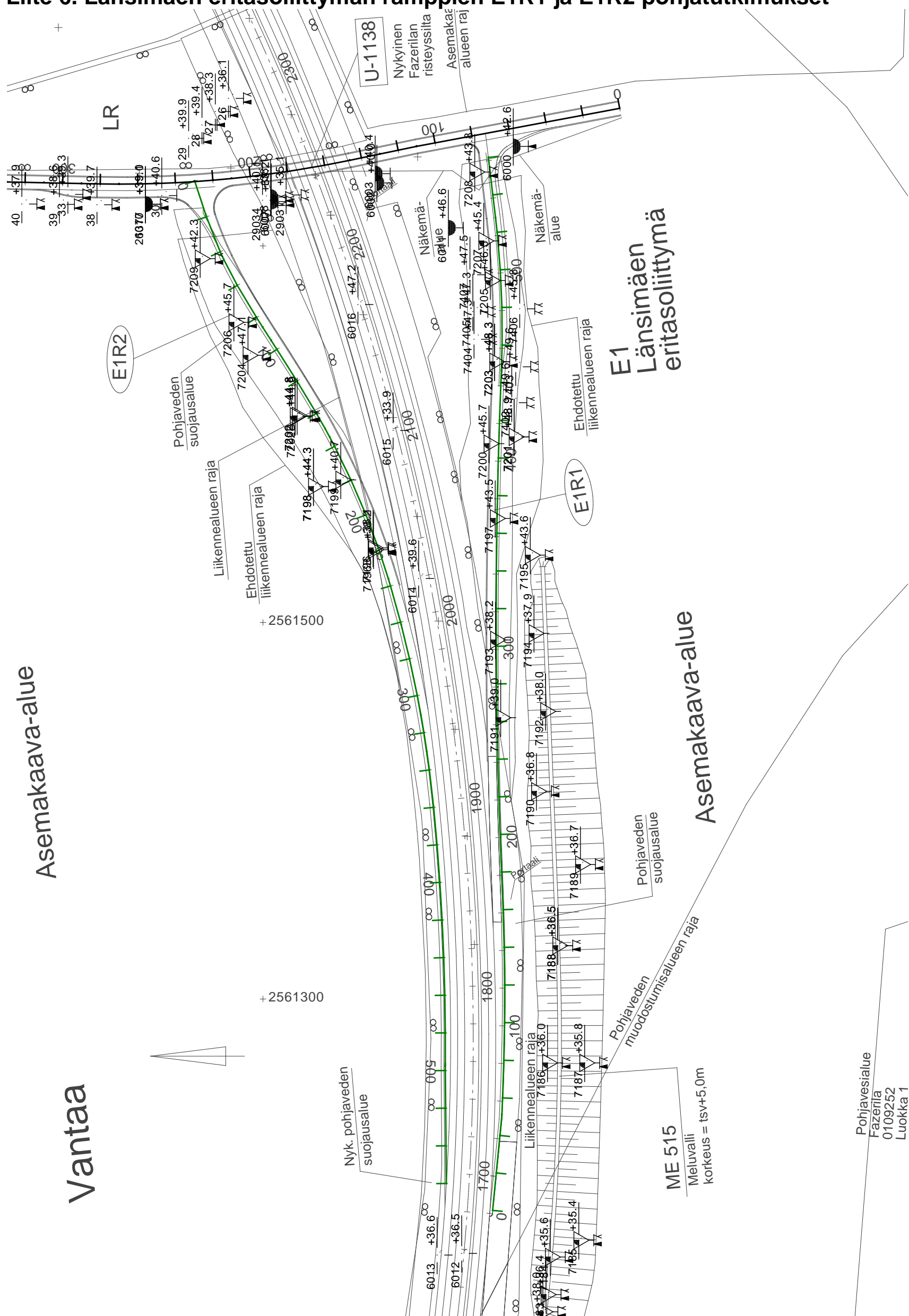
Maalaji	Massakertoimien yhdistelmät ja käänteisarvot					
	Tilavuusyksikkö ennen kertomista massakertoimella					
	1) m <sup>3</sup> ktr	2) m <sup>3</sup> kt	3) m <sup>3</sup> itd	4) m <sup>3</sup> rtd	5) m <sup>3</sup> rtr	
		$\frac{1}{y_1}$	$\frac{1}{k_1} \times \frac{1}{y_1}$	$\frac{1}{k_2} \times \frac{1}{k_1} \times \frac{1}{y_1}$	$\frac{1}{y_2} \times \frac{1}{k_2} \times \frac{1}{k_1} \times \frac{1}{y_1}$	
Savi		0,95	0,60	1,10	1,10	1) m <sup>3</sup> ktr
Siltti		0,94	0,63	0,98	0,98	
Hiekka		0,95	0,77	1,05	1,16	
Sora		0,87	0,77	1,05	1,16	
Louhe		0,91	0,52	0,57	0,52	
M-sora		0,83	0,46	0,60	0,67	
Murske		0,83	0,40	0,54	0,60	
	$y_1$		$\frac{1}{k_1}$	$\frac{1}{k_2} \times \frac{1}{k_1}$	$\frac{1}{y_2} \times \frac{1}{k_2} \times \frac{1}{k_1}$	2) m <sup>3</sup> kt
Savi	1,05		0,63	1,16	1,16	
Siltti	1,06		0,66	1,04	1,04	
Hiekka	1,05		0,80	1,10	1,21	
Sora	1,15		0,87	1,20	1,33	
Louhe	1,10		0,57	0,63	0,57	
M-sora	1,20		0,56	0,72	0,80	
Murske	1,20		0,48	0,65	0,73	
	$y_1 \times k_1$	$k_1$		$\frac{1}{k_1}$	$\frac{1}{y_2} \times \frac{1}{k_2}$	3) m <sup>3</sup> itd
Savi	1,68	1,60		1,85	1,85	
Siltti	1,59	1,50		1,56	1,56	
Hiekka	1,30	1,25		1,37	1,52	
Sora	1,32	1,15		1,39	1,54	
Louhe	1,93	1,75		1,11	1,01	
M-sora	2,16	1,80		1,30	1,45	
Murske	2,52	2,10		1,37	1,52	
	$y_1 \times k_1 \times k_2$	$k_1 \times k_2$	$k_2$		$\frac{1}{y_2}$	4) m <sup>3</sup> rtd
Savi	0,91	0,86	0,54		1,00	
Siltti	1,02	0,96	0,64		1,00	
Hiekka	0,95	0,91	0,73		1,11	
Sora	0,95	0,83	0,72		1,11	
Louhe	1,74	1,58	0,90		0,91	
M-sora	1,66	1,39	0,77		1,11	
Murske	1,84	1,53	0,73		1,11	
	$y_1 \times k_1 \times k_2 \times y_2$	$k_1 \times k_2 \times y_2$	$k_2 \times y_2$	$y_2$		5) m <sup>3</sup> rtr
Savi	0,91	0,86	0,54	1,00		
Siltti	1,02	0,96	0,64	1,00		
Hiekka	0,86	0,82	0,66	0,90		
Sora	0,86	0,75	0,65	0,90		
Louhe	1,91	1,74	0,99	1,10		
M-sora	1,49	1,25	0,69	0,90		
Murske	1,66	1,38	0,66	0,90		

Massakertoimien yhdistelmät ja käänteisarvot on laskettu valmiiksi numeroarvoiksi.

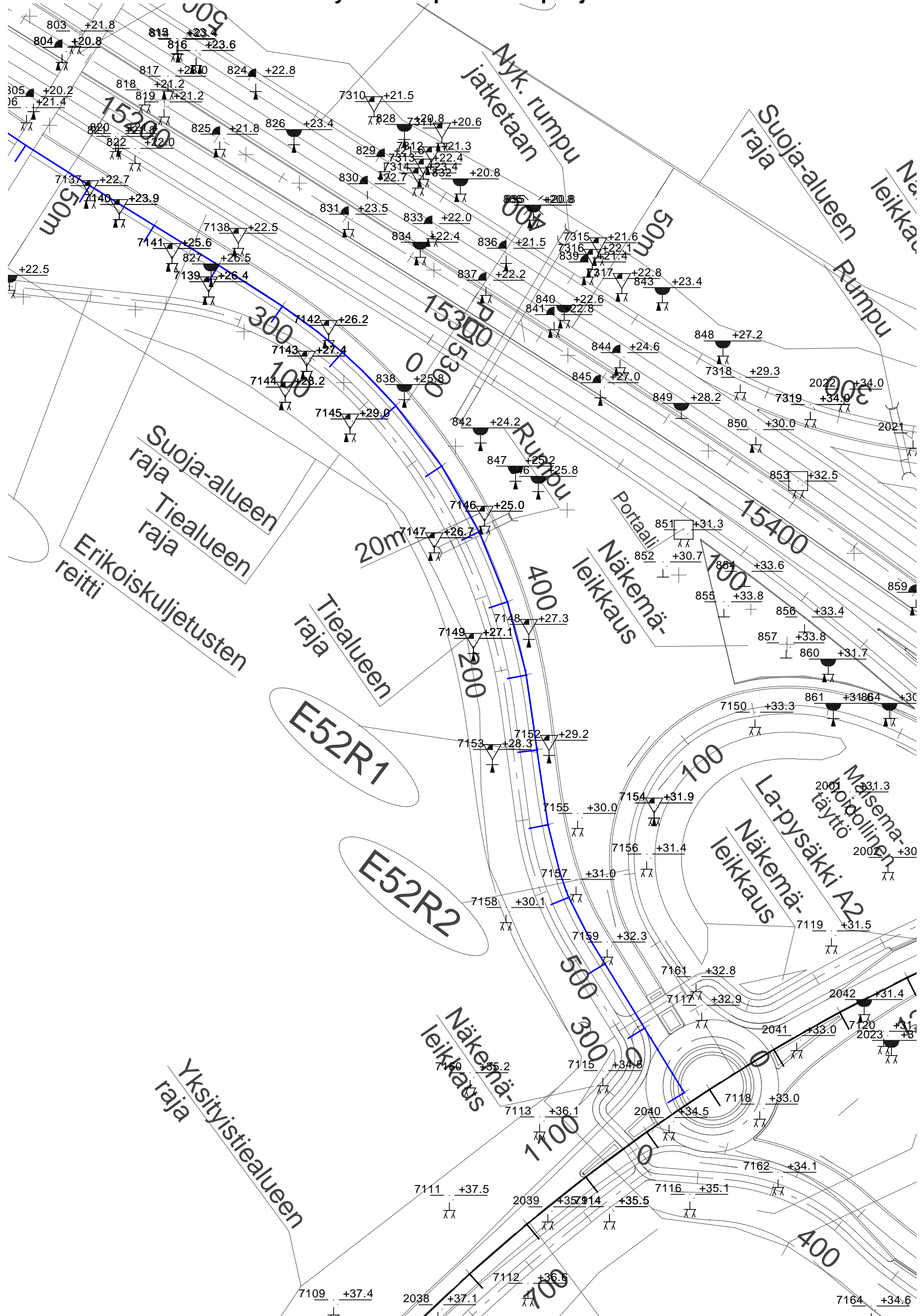
Liite 5. Länsimäentien (Y1) pohjatutkimukset

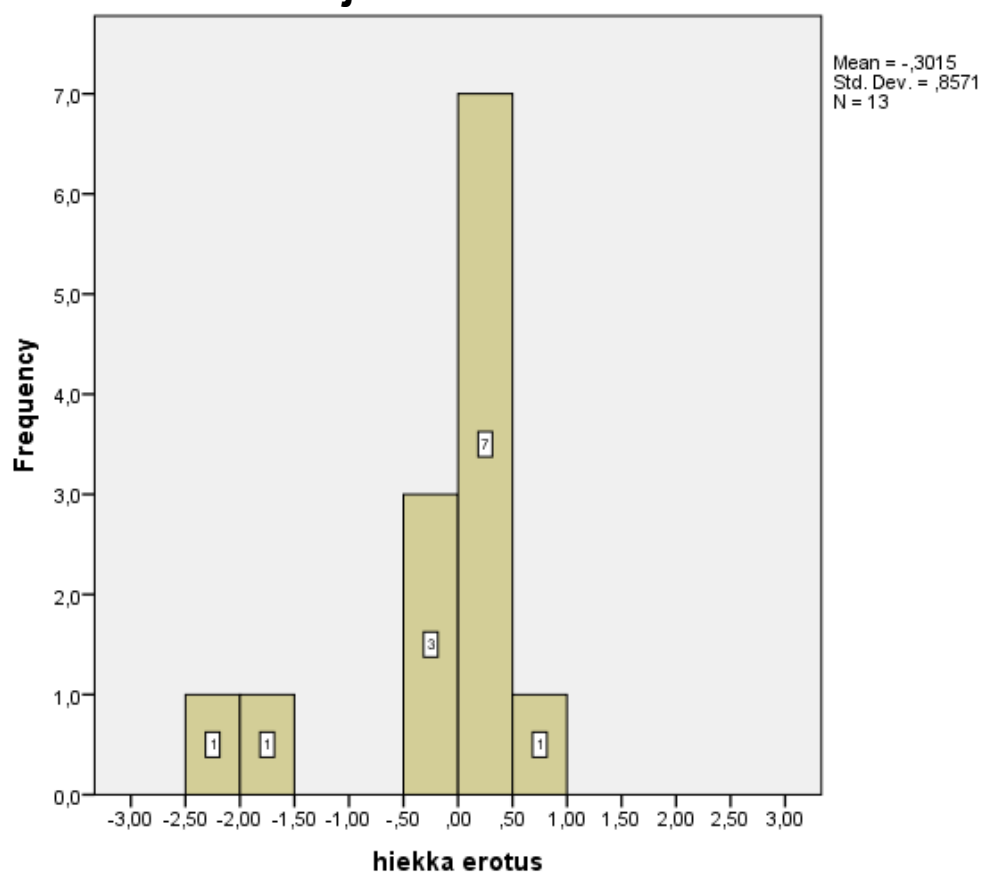


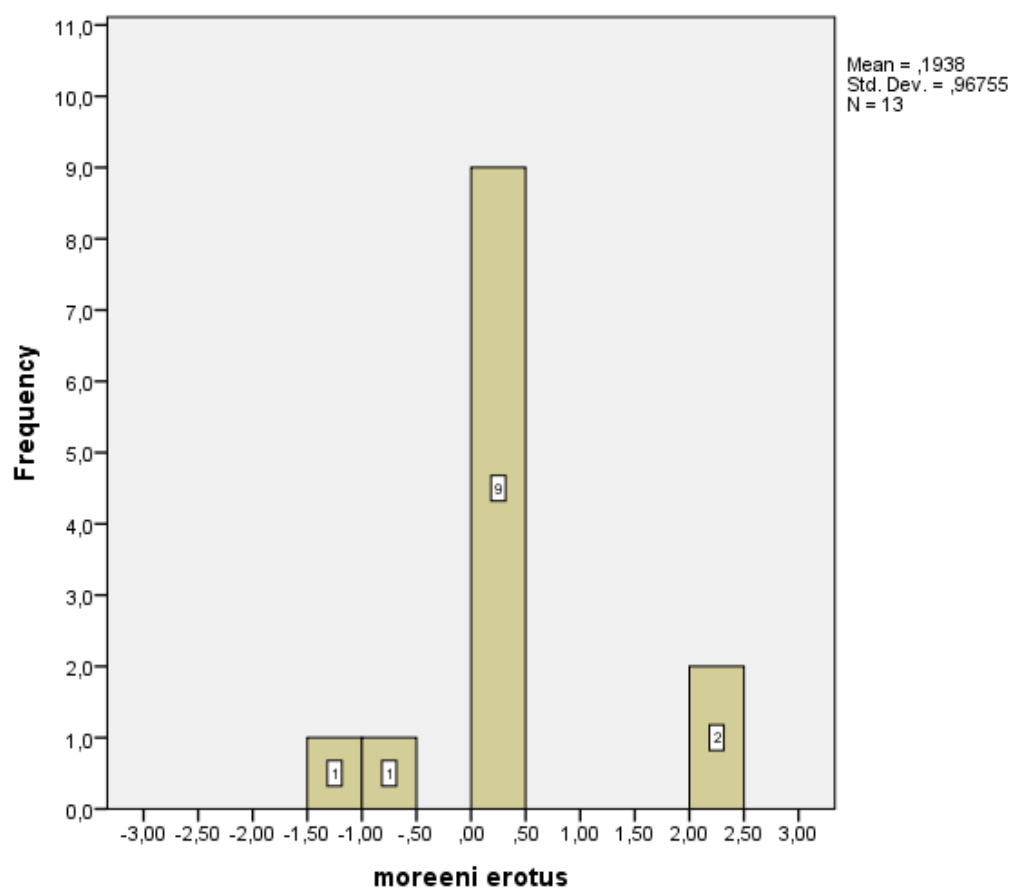




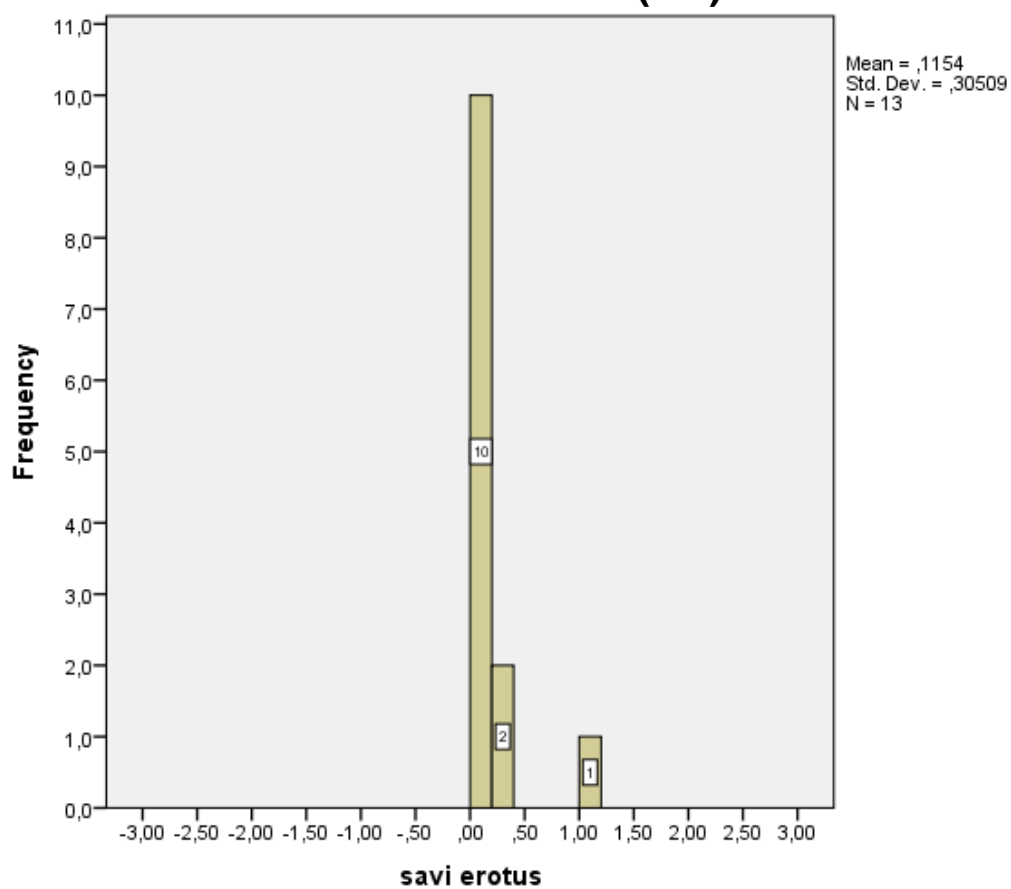
## Liite 7. Länsimäentien eritasoliittymän rampin E52R1 pohjatutkimukset



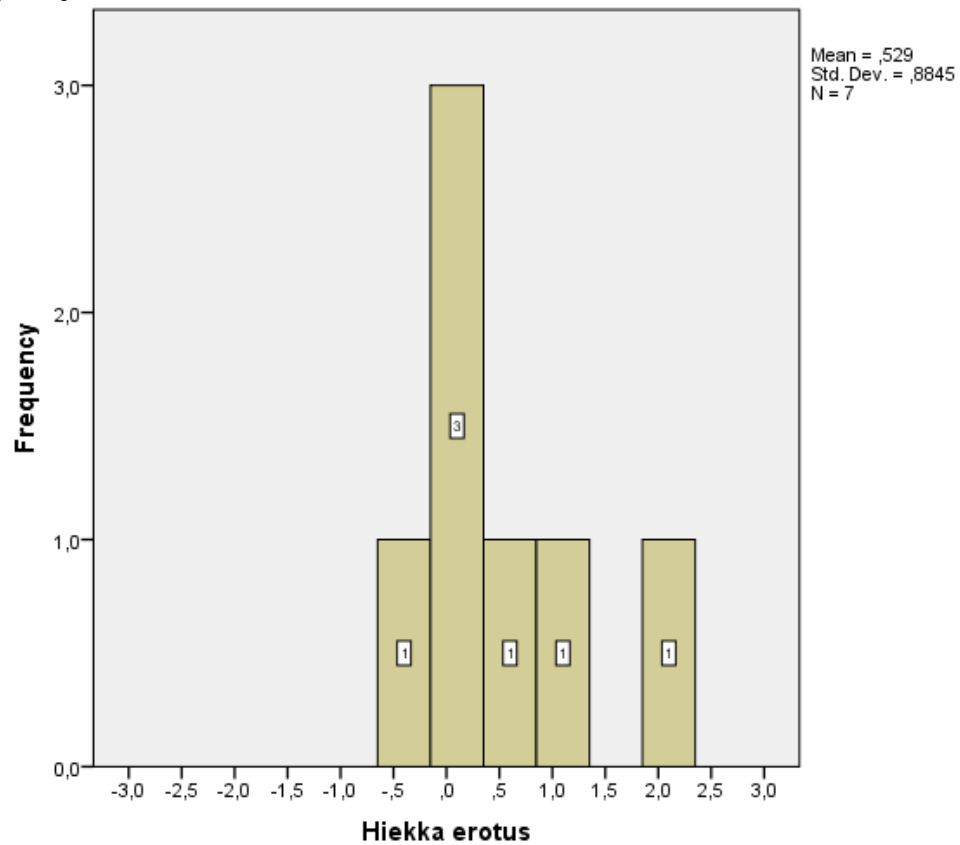
**Liite 8. Histogrammit hiekka- ja moreenikerrosten paksuuden toteuma- ja kairaustiedon erotuksista Y1 (1/2)**

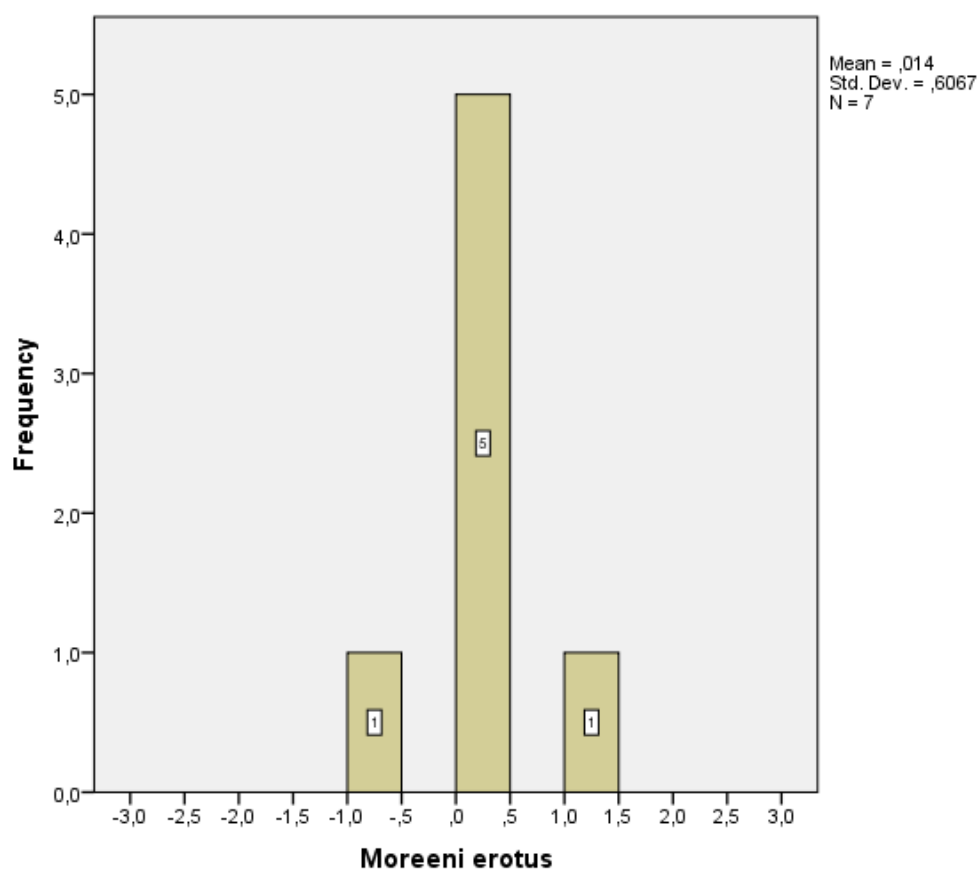


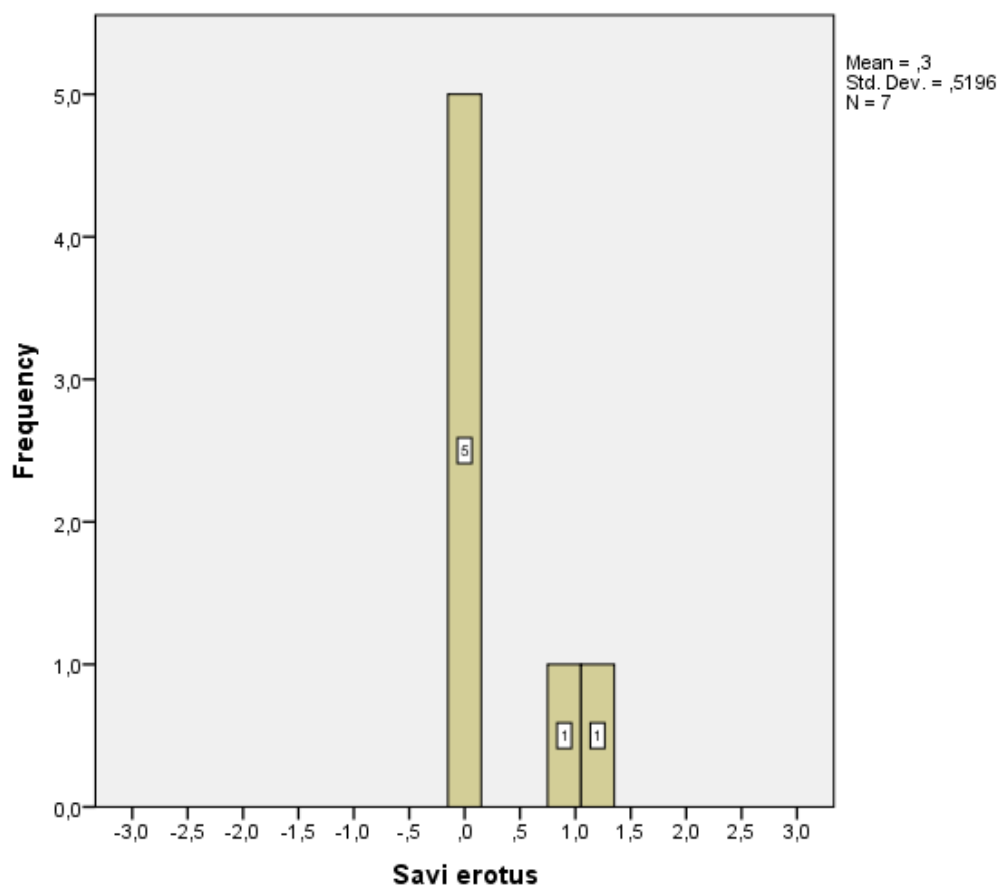


**Liite 8 Histogrammi savikerroksen paksuuden toteuma-  
ja kairautiedon erotuksesta Y1 (2/2)**

**Liite 9. Histogrammit hiekka- ja moreenikerrosten paksuuden toteuma- ja kairaustiedon erotuksista E52R1 (1/2)**





**Liite 9. Histogrammi savikerroksen paksuuden toteuma- ja kairaustiedon erotuksista E52R1 (2/2)**

# **Liite 10. Histogrammi täytemaakerroksen paksuuden toteuma- ja kairaustiedon erotuksista E1R1**

